



## **COMPARATIVO DE DOSE ENTRE PROTOCOLOS DE EXAMES DE TÓRAX EM TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA**

Warley F. Felix<sup>1,2</sup>, Adriana S. M. Batista<sup>2</sup>, Arno H. Oliveira<sup>2</sup>, Marcos E. S. Abrantes<sup>3</sup>.

1 Unidade de Diagnóstico por Imagem - UDI  
Hospital das Clínicas - UFMG / Rede Ebserh - Av. Professor Alfredo Balena, 110.  
CEP: 30130-100 - Centro - Belo Horizonte - MG, Brasil  
warleyferreirafelix@gmail.com

2 Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)  
Escola de Engenharia - EE  
Departamento de Engenharia Nuclear - DEN  
Av. Antônio Carlos, 6627 Campus UFMG  
CEP: 31.270-901 - Pampulha - Belo Horizonte - MG, Brasil

3 Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais - PUC - MG  
Pós-Graduação *latu sensu* em Higiene Ocupacional e Perícias  
Pós-Graduação *latu sensu* em Engenharia de Segurança do Trabalho  
Av. Dom José Gaspar, 500  
CEP: 30535-901 - Coração Eucarístico - Belo Horizonte - MG, Brasil

**Palavras-Chave:** Covid-19, Baixa Dose de Radiação Ionizante, Tomografia Computadorizada de tórax, Níveis de Referência de Dose.

### **RESUMO**

Em função da declaração da pandemia de Covid-19 pela Organização Mundial da Saúde em 2020, houve um aumento significativo na realização de exames por imagem para avaliação de problemas pulmonares, sendo esses os órgãos mais afetados pela doença. Dada essa demanda, é fundamental entender como alterações nos parâmetros básicos dos protocolos de exames de tomografia influenciam as doses de radiação ionizante recebidas pelos pacientes. Para este estudo foram utilizados dois objetos testes, um preenchido com água e outro com água contendo áreas de densidades diferentes. O estudo foi realizado com 70 mm de comprimento de varredura em cada, para checagem das variações de Unidades de *Hounsfield* (HU) entre os protocolos de exames e se estão dentro dos valores estabelecidos pelo fabricante dos tomógrafos. Para isso foram realizadas varreduras em protocolos de tórax rotina em dois tomógrafos computadorizados do mesmo fabricante sendo um com 4 canais e o outro com 64, mas com parâmetros tomográficos de aquisição de imagens diferentes. Os parâmetros de varredura utilizados no tomógrafo de 64 canais foram, tensão 120 kVp, corrente elétrica modulada, tempo de rotação do tubo de raios X de 0,5 segundo, espessura de corte 2,0 mm, intervalos entre cortes 1,0 mm e *Spiral pitch* de 0,828 e no tomógrafo 4 canais, tensão 120 kVp, corrente elétrica modulada, tempo de rotação do tubo de raios X de 0,75 segundo, espessura do corte 4,0 mm, intervalo entre cortes 2,0 mm, *Spiral pitch* de 1,0. Os resultados comparativos das doses nos tomógrafos apontaram que, no tomógrafo de 4 canais, o total de miliampere segundo (mAs) foi 15,43% e o tempo de varredura 52,33% maiores em comparação com o tomógrafo de 64 canais. Entretanto, o valor índice de dose em tomografia computadorizada ponderada por volume (CTDI<sub>VOL</sub>), o produto dose comprimento (DLP) e a dose efetiva (E) foram, respectivamente, 34,74%, 49,46% e 50,46% menores no tomógrafo de 4 canais em comparação ao tomógrafo 64 canais, o que nos leva a identificar quais parâmetros do exame tomográfico contribuem para essa redução de 50% da dose efetiva entre os tomógrafos. A identificação destes parâmetros em protocolos, referenciará a elaboração de protocolos com baixa dose de radiação ionizante, que permitirá a otimização da exposição dos pacientes que necessitam de acompanhamento evolutivo de patologias através de imagens tomográficas.



## 1. INTRODUÇÃO

A tomografia computadorizada (TC) é uma ferramenta necessária para auxiliar no diagnóstico médico pois ela possibilita imagens detalhadas que auxiliam na descoberta, no tratamento e monitoramento de diversas condições clínicas dos pacientes. No entanto, a alta dose de radiação ionizante emitida pela TC tem gerado preocupações significativas entre as entidades promotoras da radioproteção. Estudos indicam que a TC, embora representando apenas 10% de todas as exposições médicas, é responsável por mais de 60% da dose efetiva coletiva. Comparativamente, uma tomografia de tórax expõe o paciente a uma dose de 10 mSv, enquanto uma radiografia de tórax expõe a apenas 0,1 mSv [1, 2].

Estudos mostraram que exposições aumenta a probabilidade de indução de cânceres mesmo para baixas doses, havendo um aumento de 4% no risco de morte relacionada ao câncer para cada incremento de 1,0 sievert (Sv) na dose efetiva. A pandemia da Covid-19 provocou um aumento acentuado no uso de TC de tórax para diagnóstico e acompanhamento evolutivo da patologia dos pacientes, elevando ainda mais a exposição à radiação ionizante. Diante desse quadro, torna-se imprescindível otimizar o planejamento de radioproteção, alinhando-os aos objetivos das exposições médicas para minimizar as doses de radiação absorvida sem comprometer a qualidade diagnósticas [3, 4].

Protocolos de TC de tórax de rotina possuem uma dose efetiva de 8,0 a 10,0 mSv, enquanto estudos sugerem que protocolos de dose baixa devem ser inferiores a 2,5 mSv. Os protocolos de baixas doses para TC ainda não estão bem definidos quantitativamente na literatura, dificultando a padronização dos mesmos, tão necessário no contexto da pandemia [5, 6].

A falta de padronização dos níveis de referência de dose (NRD) para exames de TC causam incertezas na definição dos padrões de dose na TC de tórax e dificulta que as agências promotoras da radioproteção estabeleçam parâmetros para exames de baixas doses [7, 8, 9].

Nesse sentido, esse estudo tem como objetivo comparar a dose efetiva entre protocolos de TC de tórax rotina de dois tomógrafos e discutir a necessidade de estabelecer os NRD's, que servirão de referências para desenvolvimento de protocolos de baixa dose em TC, visando reduzir a dose de radiação ionizante e promover exposições médicas mais otimizadas.

## 2. METODOLOGIA

Na instrução normativa 93 da ANVISA (IN 93), em seu anexo II, estabelece o valor representativo de dose em TC médica, sendo a referência máxima de  $CTDI_{VOL}$  de 25 mGy para o abdome (adulto típico, peso entre 60 e 75 kg e altura de 1,60 a 1,75 m), fazendo um exercício de simulação<sup>1</sup> convertemos o valor do  $CTDI_{VOL}$  para abdome da IN 93 para DLP em um tórax de 25 cm de comprimento, encontramos um DLP de 625 mGy.cm e uma dose efetiva (E) de 8,75 mSv [10].

A partir da publicação da IN 93, tornou-se obrigatório o fornecimento do  $CTDI_W$  ou  $CTDI_{VOL}$  e o DLP em imagens padrão DICOM de todos os exames tomográficos [10].

A Tab. 1 mostra alguns valores de referências de  $CTDI_{VOL}$ , DLP e dose efetiva para TC de tórax, estabelecidos pelas agências regulatórias de diversos países.

---

<sup>1</sup> Na prática esse mesmo valor é também utilizado para cálculo da dose torácica (por proximidade de dimensões das estruturas em um adulto típico estabelecido na IN 93).



Tab. 1- Níveis Referências de Doses para TC de tórax.

Países e Agência Regulatória	CTDI <sub>vol</sub> (mGy)	DLP (mGy.cm)	Dose efetiva (mSv)
Reino Unido <sup>[7]</sup>	-	-	14
USA <sup>[7]</sup>	-	-	6,1
Rússia <sup>[7]</sup>	-	-	6,3
Brasil (valores simulados)	25	625	8,7
Reino Unido <sup>[8]</sup>	14	580	8,1
Europa <sup>[8]</sup>	30	650	9,1
AIEA <sup>[8]</sup>	9,5	447	6,3
Coreia <sup>[8]</sup>	15	550	7,7
ACR <sup>[9]</sup>	12	443	6,2
NCRP <sup>[9]</sup>	21	-	-
Japão <sup>[9]</sup>	15	550	7,7
União Europeia <sup>[9]</sup>	10	400	5,6
Reino Unido <sup>[9]</sup>	12	610	8,5
Irlanda <sup>[9]</sup>	9	390	5,5
Austrália <sup>[9]</sup>	15	450	6,3
Canadá <sup>[9]</sup>	14	521	7,3
Grécia <sup>[9]</sup>	14	480	6,7
Arábia Saudita <sup>[9]</sup>	5	190	2,7

Os principais fatores referenciais de controle da dose de radiação ionizante para exames tomográficos são fornecidos nos relatórios de dose de cada exame tomográfico e apresentados abaixo:

- **CTDI<sub>vol</sub>** (Índice de Dose em Tomografia Computadorizada Ponderada por Volume): medido em mGy, representa o índice de dose ajustado ao volume escaneado.
- **DLP** (Produto Dose Comprimento): medido em mGy.cm, é o produto do CTDI<sub>vol</sub> pelo comprimento do exame.
- **Dose Efetiva (E)**: é o produto da DLP e uma constante específica (k) para cada região do corpo humano escaneada (para tórax,  $k = 0,014 \text{ mSv/mGy.cm}$ ), medida em mSv [2, 7].

Estes parâmetros são utilizados como referência para otimização e radioproteção em exames tomográficos. Sendo adotada neste estudo a dose efetiva para comparar as doses entre diferentes protocolos de exames [11, 12, 13, 14].

O estudo foi focado em protocolos de varredura de tórax (rotina<sup>2</sup>) em dois tomógrafos. Estes apresentaram os seguintes parâmetros básicos, sendo estes retirados do detalhamento dos protocolos, no tomógrafo de 64 canais, tensão 120 kVp, corrente elétrica modulada, tempo de rotação do tubo de raios X de 0,5 segundo, espessura de corte 2,0 mm, intervalos entre cortes de 1,0 mm e *Spiral pitch* de 0,828.

<sup>2</sup> Protocolo para o estudo dos tecidos da caixa torácica que abrange a maioria das indicações clínicas para a realização de um exame tomográfico da estrutura.



No tomógrafo 4 canais, com tensão 120 kVp, corrente elétrica modulada, tempo de rotação do tubo de raios X 0,75 segundo, espessura do corte 4,0 mm, intervalo entre cortes 2,0 mm e *Spiral pitch* de 1,0 sendo esses os principais parâmetros dos protocolos de avaliação de patologias torácicas.

Para compreender como as alterações nos parâmetros básicos dos protocolos de rotina para TC de tórax refletem na variação a dose efetiva, foi realizado um estudo piloto em dois tomógrafos do fabricante Canon Medical (Toshiba), visando a comparação de doses efetivas entre eles, e foram utilizados objetos teste fornecidos com os tomógrafos para controle de qualidade e calibrações, por meio da checagem das variações da Unidades de *Hounsfield* (HU) das imagens e confrontar estes valores de HU com as referências do formulário da qualidade do fabricante dos tomógrafos.

Para o teste piloto foram utilizados o protocolo de rotina para varredura de tórax, nos dois tomógrafos, com 70 mm de comprimento de varredura em amos objetos teste.

Os objetos teste utilizados foram, um preenchido com água (*Water Phantom*) Fig. 1, em formato cilíndrico de 330 mm de diâmetro e 90 mm de altura e outro TOS (*TOS Phantom*) Fig. 2, com áreas de densidades variadas e preenchido com água, em formato cilíndrico de 330 mm de diâmetro e 100 mm de altura.

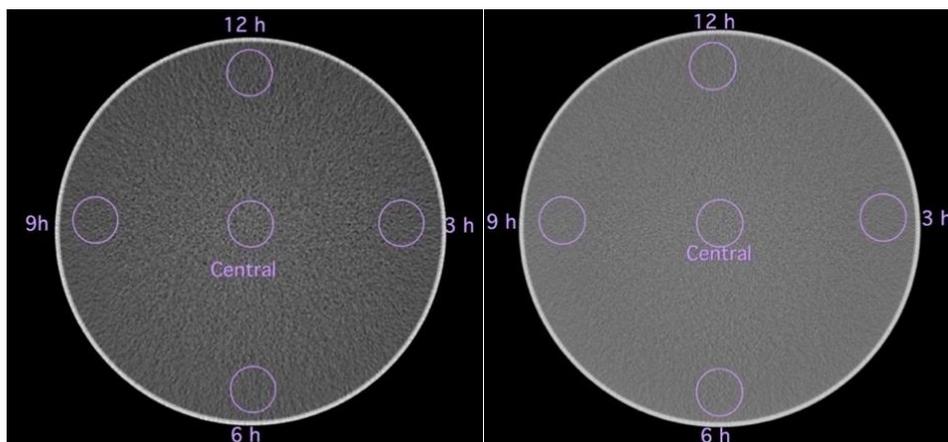


Fig. 1. Posicionamento dos ROI's no *Water Phantom* (esq., tomógrafo 64 canais, dir. tomógrafo 04 canais).

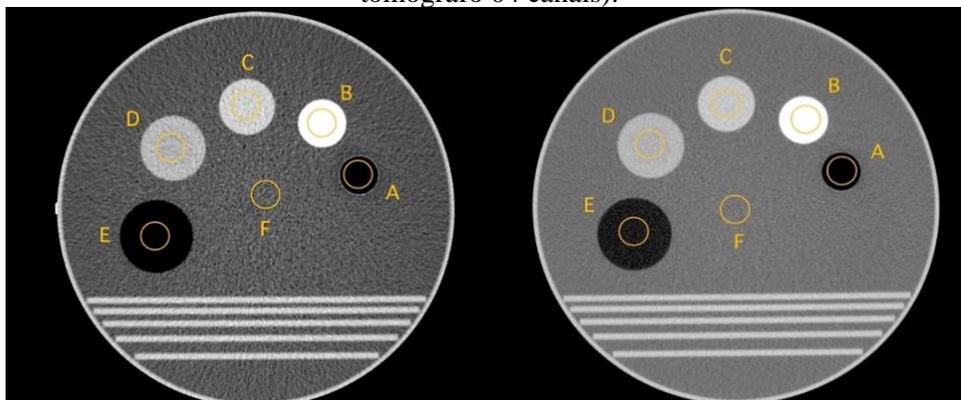


Fig. 2. Posicionamento dos ROI's no *TOS Phantom* (esq. tomógrafo 64 canais, dir. tomógrafo 04 canais).



As leituras nas imagens dos objetos de testes foram realizadas por meio do *software* Horos [15] e utilizada a ferramenta (ROI)<sup>3</sup> de leitura de valores de HU, em forma elíptica e com área igual para cada medição. As medições executadas foram baseadas no formulário de controle de qualidade CT utilizado pelo fabricante dos tomógrafos para controle de qualidade e calibrações na instalação e após manutenções e revisões realizadas nos tomógrafos sendo apresentados em HU.

As leituras realizadas por meio do *software* Horos nas imagens dos objetos teste tem a função de comparar as leituras dos ROI's com os padrões de HU do formulário de controle de qualidade dos tomógrafos, fornecido pelo fabricante para verificação da concordância das leituras das imagens com os padrões estabelecidos pelo fabricante.

### 3. RESULTADOS

Segundo o formulário de controle de qualidade TC as leituras no *Water Phantom* variam de  $\pm 5$  HU, possuindo os ROI's o mesmo tamanho sendo distribuídos como as horas de um relógio para verificação da uniformidade dos valores de HU no objeto teste, conforme Tab. 2.

Tab. 2- Medidas em HU no objeto teste *Water Phantom*.

Posicionamento do ROI	Tomógrafos		Variação de Leituras
	64 canais	04 canais	
12 h	$-14,516 \pm 11,388$	$-11,509 \pm 12,135$	-3,007
3 h	$-10,074 \pm 10,815$	$-9,281 \pm 11,691$	-0,793
6 h	$-6,896 \pm 10,621$	$-3,530 \pm 11,216$	-3,366
9h	$-10,330 \pm 9,845$	$-5,834 \pm 11,381$	-4,496
Central	$-0,194 \pm 13,302$	$-0,344 \pm 14,029$	-0,150

No TOS *Phantom* os ROI's possuem o mesmo tamanho sendo posicionados em cada região de modo que caiba completamente na área estudada para que não extrapole os limites das regiões causando interferências nas medições, para verificar se as variações nas leituras estão nas margens de tolerância indicadas pelo formulário de controle de qualidade, na região A  $\pm 20$  HU, nas regiões B, C, D e E de  $\pm 10$  HU e na região F varia de  $\pm 5$  HU e os dados são exibidos nas Tab. 3.

Tab. 3- Medidas em HU no objeto teste TOS *Phantom*.

Posicionamento do ROI	Tomógrafos		Variação entre Regiões
	64 canais	04 canais	
Região A	$-971,346 \pm 9,938$	$-985,007 \pm 12,216$	-13,661
Região B	$331,188 \pm 15,876$	$337,147 \pm 14,463$	5,959
Região C	$119,879 \pm 13,879$	$119,215 \pm 12,776$	0,664
Região D	$83,799 \pm 12,308$	$84,819 \pm 13,283$	1,020
Região E	$-106,298 \pm 11,793$	$-106,424 \pm 12,445$	-0,126
Região F	$2,371 \pm 13,254$	$-0,061 \pm 11,374$	2,310

<sup>3</sup> Region Of Interest (Região de Interesse).



Os dados do estudo piloto conforme descritos na metodologia, realizado com o Water *Phantom* foram extraídos do relatório de dose dos tomógrafos e a dose efetiva foi calculada utilizando o DLP fornecido no relatório e o multiplicando pela constante k. Esses dados foram tabulados e apresentados na Tab. 4.

Tab. 4- Dados obtidos no teste preliminar.

Parâmetros de dose	Tomógrafos (Tórax Rotina)		
	64 canais	04 canais	Diferença %
Comprimento de varredura (mm)	70	70	-
Total de mAs	1595	1841	+15,43
Tempo de varredura (s)	6,86	10,45	+52,33
CTDI <sub>VOL</sub> (mGy)	38,00	24,80	-34,74
DLP (mGy.cm)	537,80	271,80	-49,46
Dose Efetiva (mSv)	7,53	3,80	-50,46

Observa-se que o tomógrafo de 4 canais apresenta um total de mAs 15,43% maior, um tempo de varredura 52,33% maior, um CTDI<sub>VOL</sub>, 34,74% menor, o DLP é 49,46% menor e o valor de dose efetiva é 50,46% menor, em comparação com o tomógrafo de 64 canais. Sugerindo que os parâmetros de medição da dose de radiação ionizante do tomógrafo de 4 canais são inferiores aos do tomógrafo de 64 canais. Indicando que os referenciais de medição da dose de radiação ionizante do tomógrafo de 4 canais são inferiores aos do tomógrafo de 64 canais e os parâmetros básicos do protocolo de tórax rotina do tomógrafo de 4 canais podem servir como base no desenvolvimento de um protocolo de baixa dose.

#### 4. CONCLUSÃO

Conforme mostrado, pequenas diferenças entre os parâmetros básicos dos protocolos de varredura tomográficas de tórax, nos tomógrafos apresentados neste estudo, podem resultar em uma redução de até 50% na dose efetiva.

As medições realizadas para controle de qualidade confirmam que os protocolos de exames tomográficos estão dentro dos parâmetros estabelecidos pelo fabricante dos tomógrafos e não foi encontrada diferença substancial na qualidade das imagens deles.

Uma definição clara dos níveis de referência de dose de radiação ionizante para os exames dos tomográficos é essencial para um planejamento eficaz visando a redução de dose e a otimização da radioproteção dos pacientes.

Adicionalmente, é importante estabelecer objetivamente conceitos bem definidos de níveis de referência de dose para balizar a criação de protocolos que utilizem baixa dose de radiação ionizante.

O desenvolvimento de protocolos de baixa dose de radiação ionizante nos exames tomográficos tem grande importância no processo de otimização e planejamento da radioproteção proporcionando menor exposição e contribuindo para redução das doses efetivas individuais e, conseqüentemente, doses efetivas coletivas.



**Semana Nacional de Engenharia Nuclear e da Energia e Ciências das Radiações – VII SENCIR**  
Belo Horizonte, 12 a 14 de novembro de 2024

## AGRADECIMENTOS

Ao Hospital das Clínicas da Universidade Federal de Minas Gerais - rede Ebserh, em especial à gerência da Unidade de Diagnóstico por Imagem, pela viabilização da realização desta pesquisa. Ao Departamento de Engenharia Nuclear da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, pelo apoio educacional.

Os autores agradecem também à Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio e fomento a pesquisa científica.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. Ford, Radiation, people and the environment. (2004).  
[https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig\\_q=RN:35041876](https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:35041876) acessado em 01/2022.
- [2] UNSCEAR, Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) 2020/2021 Report: Report to the General Assembly, With Scientific Annexes A and B. UN (2022).
- [3] P. P. Silva e A. L. Marcondes, Otimização da dose de radiação ionizante em tomografia computadorizada. *Tekhne e Logos*, Vol. 9, n. 1, pp. 88-98 (2018).
- [4] S. Andresz, *et al.* Optimization of radiation protection: Alara, a practical guidebook (2019).
- [5] J. Azadbakht, *et al.* A review on chest CT scanning parameters implemented in COVID-19 patients: bringing low-dose CT protocols into play. *Egyptian Journal of Radiology and Nuclear Medicine*, Vol. 52, pp. 1-10 (2021).
- [6] M. Tækker, *et al.* Diagnostic accuracy of low-dose and ultra-low-dose CT in detection of chest pathology: a systematic review. *Clinical Imaging*, Vol. 74, pp. 139-148 (2021).
- [7] J. D. Harrison, *et al.* The use of dose quantities in radiological protection: ICRP publication 147 *Annals of the ICRP* 50 (1) 2021. *Journal of Radiological Protection*, Vol. 41, n. 2, p. 410 (2021).
- [8] L. T. Dauer, *et al.* (Ed.). Dose, benefit, and risk in medical imaging. CRC Press (2018).
- [9] S. K. Albahiti *et al.* Establishment of institutional diagnostic reference levels for 6 adult computed tomography examinations: Results from preliminary data collection. *Radiation Physics and Chemistry*, Vol. 201, p. 110477 (2022).
- [10] BRASIL. Instrução Normativa Nº 93 de 27 de maio de 2021. Estabelece os requisitos sanitários para a garantia da qualidade e da segurança em sistemas de tomografia computadorizada médica. (2021).  
<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-in-n-93-de-27-de-maio-de-2021-323016253> acessado em 01/2022.
- [11] J. D. Harrison. *et al.* ICRP publication 147: use of dose quantities in radiological protection. *Annals of the ICRP*, Vol. 50, n. 1, pp. 9-82 (2021).
- [12] T. C. Alonso. Dosimetria em tomografia computadorizada e avaliação das doses nos órgãos em varreduras de tronco (2016).
- [13] J. Hsieh, *et al.* Computed tomography: principles, design, artifacts, and recent advances. In: Bellingham, Washington USA (Published by SPIE and John Wiley & Sons, Inc.): SPIE, (2022).
- [14] A. P. Mourão. Tomografia computadorizada: tecnologias e aplicações. São Caetano do Sul, SP: Difusão, (2017).
- [15] HOROS. Versão 2Kv2.0.2. Disponível em: <https://horosproject.org/download> acessado em 15 mar. 2017.