

# Avaliação de índice volumétrico de dose em tomografia axial de crânio utilizando detectores termoluminescentes

## Evaluation of volumetric dose index in cranial axial tomography using thermoluminescent detectors

Akemi Yagui<sup>1,2</sup>, Ricardo da C de Souza<sup>3,4</sup>, Carlos Almeida Barbosa<sup>3</sup>, Hugo Reuters Schelin<sup>1,2</sup>, Ricardo Rabello Ferreira<sup>4</sup>, Anna Luiza M C Malthez<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Pesquisa Pelé Pequeno Príncipe, Curitiba, Brasil

<sup>2</sup>Faculdades Pequeno Príncipe, Curitiba, Brasil

<sup>3</sup>Faculdades Integradas Camões, Curitiba, Brasil

<sup>4</sup>Centro Diagnóstico Água Verde, Curitiba, Brasil

<sup>5</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Brasil

### Resumo

Os exames de tomografia computadorizada (TC) de crânio são amplamente realizados por fornecerem imagens com alta qualidade diagnóstica. No entanto, estes têm contribuído com uma grande parcela da dose devido às exposições médicas, chegando até dois terços das doses relativas na população. Deste modo, procedimentos de qualidade e otimização das doses se tornam fundamentais em TC. A avaliação da dose fornecida nesta modalidade diagnóstica é realizada por meio do índice de dose em tomografia computadorizada (CTDI). Este trabalho teve como objetivo avaliar o CTDI, em exames de TC de crânio, no modo axial, utilizando detectores termoluminescentes (TLD) e comparar com o valor fornecido pelo equipamento. A aquisição dos dados foi realizada em um tomógrafo de 128 canais, utilizando um simulador cilíndrico de polimetilmetacrilato para obter as imagens. O CTDI avaliado por meio de detectores TLD teve um valor de  $(75 \pm 15)$  mGy e o equipamento forneceu, no relatório de dose ao final do exame, um CTDI de 73,4 mGy. O valor calculado a partir da estimativa de dose nos detectores TL é compatível com o valor fornecido pelo equipamento. Este resultado indica a aplicabilidade de TLD100 para avaliações postais de TC e levantamento de níveis de referência locais e regionais em radiodiagnóstico.

**Palavras-chaves:** tomografia computadorizada; detectores termoluminescentes; índice de dose em tomografia

### Abstract

*Cranial computed tomography (CT) exams are widely performed because they provide images with high diagnostic quality. However, these exams have contributed with a large portion of the dose due to medical exposures, reaching up to two thirds of the relative doses in the population. Thus, quality procedures and dose optimization become fundamental in CT. The assessment of the dose provided in this diagnostic modality is performed by CT dose index (CTDI). This work aimed to evaluate CTDI, in cranial CT scans in axial mode, using thermoluminescent detectors (TLD) and to compare with the value provided by the equipment. Data acquisition was performed on a 128-channel tomograph using a cylindrical polymethylmethacrylate simulator to obtain the images. The CTDI evaluated with TLD had a value of  $(75 \pm 15)$  mGy and the equipment provided a CTDI of 73.4 mGy in the dose report at the end of the examination. The value calculated from the dose estimated with TL detectors is compatible with the value provided by the equipment. This result opens perspectives for the use of TLD100 for postal CT assessments of local and regional reference levels in radiodiagnosis.*

**Keywords:** computed tomography; thermoluminescent detectors; tomography dose index

### 1. Introdução

A tomografia computadorizada (TC) foi introduzida na área de diagnóstico por imagens na década de 70, possibilitando estudos radiológicos com maior precisão por fornecer imagens em vários planos, sem sobreposição das estruturas anatômicas. As imagens possuem alta resolução e possibilitam diferenciar a densidade entre os tecidos na ordem de 0,5%, enquanto que na radiologia convencional este valor é de 5% (1,2).

Estudos revelam que no Reino Unido, apesar dos exames de TC representarem apenas 7% dos exames médicos que utilizam radiação ionizante, contabilizam 47% do total da dose coletiva. Já nos Estados Unidos este método de diagnóstico corresponde a 10% de todos os procedimentos de radiodiagnóstico, contribuindo com dois terços das doses relativas na população (2).

Embora a qualidade da imagem permita uma melhor visualização e diferenciação das estruturas, as doses são relativamente altas, quando comparadas com outras modalidades de imagem (2).

De acordo com a UNSCEAR (*United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*), as exposições médicas correspondem a uma das maiores vias de exposição humana às radiações ionizantes (3).

A Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) da Agência Nacional de Vigilância Sanitária de número 330 de 2019 estabelece requisitos para realização de exames com raios X (4). Na Instrução Normativa (IN) número 55 são descritos testes para assegurar que as imagens geradas pelo tomógrafo tenham condições de oferecer um diagnóstico preciso, com doses tão baixas quanto razoavelmente exequíveis, de acordo com o princípio ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*) minimizando a ocorrência de efeitos biológicos deletérios (5,6).

A tomografia para avaliação do crânio é uma das mais realizadas por ser um exame rápido e fornecer imagens com qualidade diagnóstica. Para a aquisição das imagens, pode-se realizar o exame no modo helicoidal (que permite reconstrução volumétrica) e no modo axial. Segundo o DATASUS, no período de janeiro a abril de 2020 foram realizados, em média, 122.043 exames de TC de crânio no Brasil (7).

Para a estimativa da dose empregada em exames de tomografia, calcula-se o Índice de Dose em Tomografia Computadorizada (*Computed Tomography Dose Index*-CTDI), que é um indicador, para fins de otimização e qualidade, da dose recebida pelo paciente durante o exame. O CTDI é definido como<sup>8</sup>:

$$CTDI = \frac{1}{NT} \int_{-\infty}^{+\infty} D(z) dz \quad (1)$$

onde  $D(z)$  é o perfil de dose ao longo do eixo  $z$ ,  $N$  é o número de cortes e  $T$  é a espessura do corte. A grandeza CTDI é utilizada como parâmetro para otimização da proteção radiológica e fins de intercomparação.

De acordo com a aplicação e equipamento, são definidos outros índices baseados no CTDI, como o  $CTDI_{vol}$  (*Volumetric Computed Tomography Dose Index*) que considera o fator de passo (*pitch*) em equipamentos helicoidais,  $CTDI_{100}$  que é avaliado a partir de medidas em fantoma com câmara de ionização tipo lápis e o  $CTDI_w$  que considera o perfil de dose fora da região central.

Os valores de CTDI são fornecidos pelo console do equipamento de TC no final dos exames por meio de relatório DICOM. De acordo com a IN 55, esses valores de doses foram definidos para um paciente adulto típico: indivíduo com característica biométrica típica de adulto, com peso entre 60 e 75 kg e altura entre 1,60 e 1,75 m (4,5). Dessa forma, a realização de simulações para verificação destes valores faz-se necessária. Os valores de CTDI na região central da estrutura examinada são menores quando comparados aos valores dessa mesma grandeza na região periférica (8).

Do ponto de vista de proteção radiológica, o CTDI pode ser utilizado como nível de referência em radiodiagnóstico(9). Vale ressaltar que este não serve como valor restritivo da dose recebida pelo paciente no exame, e sim, como um valor a ser utilizado no processo de otimização das doses entregues ao paciente. No Brasil, a RDC 330(5), recomenda utilizar como valor representativo no procedimento o  $CTDI_{vol}$  e inabilita para uso equipamentos que não possuam indicações do  $CTDI_w$  ou  $CTDI_{vol}$  e DLP (para equipamentos comercializados após a publicação da IN55) (6).

Em documento da *American Association of Physicists in Medicine* (AAPM) número 96, o valor de CTDI típico para um exame de TC de crânio axial, com corrente de 250 mAs por rotação, tensão de 120 kV em um tomógrafo de 4 canais é de 55 mGy (8).

Frequentemente, a avaliação de doses, tanto em pacientes submetidos a procedimentos radiodiagnósticos, bem como em para levantamento

de níveis de referência, tem sido realizada por meio de detectores termoluminescentes (TL). Em especial, detectores de fluoreto de lítio dopado com magnésio e titânio (LiF:Mg,Ti) têm sido utilizados em diversas áreas da dosimetria com sucesso histórico. As primeiras aplicações do LiF começaram em meados de 1950 e se estendem até os dias de hoje devido às suas propriedades intrínsecas, como sensibilidade a alta radiação ionizante, número atômico próximo ao do tecido biológico, entre outras(10).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o CTDI, em exames de TC de crânio, no modo axial, utilizando detectores termoluminescentes (TL) e comparar os resultados com os valores fornecidos pelo console do equipamento.

## 2. Materiais e Métodos

O exame de TC de crânio foi realizado em tomógrafo de 128 canais (Hitachi®), utilizando para aquisição das imagens uma tensão de 120 kV, corrente de operação de 400 mAs, com protocolo axial, com colimação de 15 mm (24 detectores de 0,625 mm). Esse protocolo é definido para pacientes adultos.

Para avaliação do CTDI foi utilizado um simulador cilíndrico constituído de polimetilmetacrilato (PMMA) com 14 cm de comprimento e 16 cm de diâmetro desenvolvido para controle de qualidade em TC. Este possui diversas hastes removíveis, composta do mesmo material do simulador, para inserção da câmara de ionização. Para tirar a influência do comprimento do simulador, o topograma foi ajustado com FOV (*field of view*) do mesmo tamanho do simulador (figura 1).

Para a avaliação do CTDI, foi estimada a dose absorvida na região central e periférica (0° respectivamente) do simulador (figura 2) por meio de detectores TL LiF:Mg,Ti (TLD100 - Bicron). Para isso, 19 TLD100 foram dispostos ao longo de uma única linha, formando uma coluna de detectores. Foram avaliadas as doses apenas em um ponto da periferia por limitação da quantidade de TL.

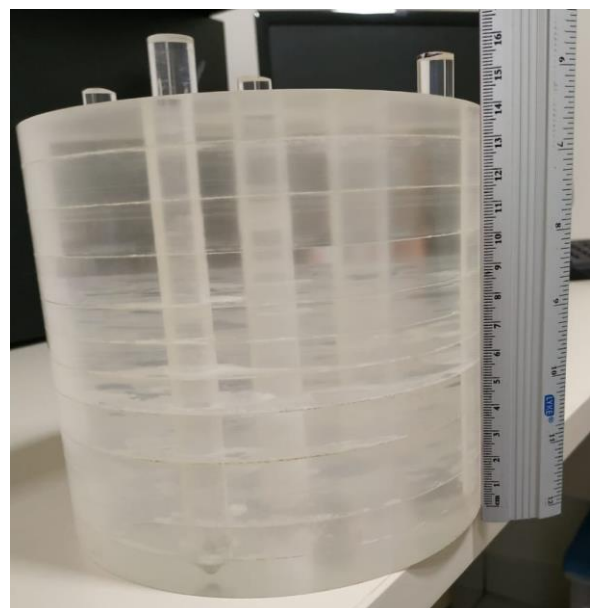
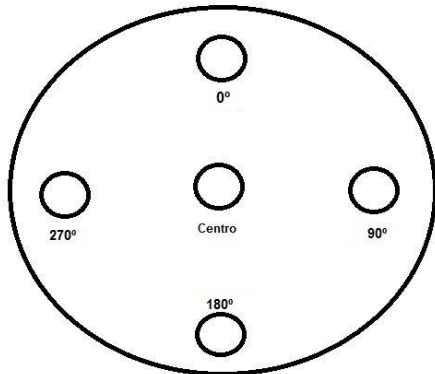


Figura 1: Simulador cilíndrico de PMMA.

Os detectores utilizados, previamente selecionados por sensibilidade (<5%), foram submetidos a duas etapas de tratamento térmico: 400°C por 1h e 100°C por 2h, antes de serem expostos no exame.

Na figura 2 tem-se uma ilustração do simulador. As descrições 0°, 90°, 180°, 270° e centro correspondem aos orifícios do simulador preenchidos com hastes de PMMA removíveis, no qual foram inseridas as colunas de TLD100.



**Figura 2:** Vista frontal do simulador de PMMA utilizado neste estudo.

A figura 3 apresenta o tomógrafo e o simulador usados neste trabalho durante aquisição de dose na região central com uma câmara de ionização tipo lápis aplicada no controle de qualidade. Optou-se por utilizar detectores TLD100 pois estes apresentam propriedades dosimétricas adequadas e pouca variação na resposta em energia na faixa de radiodiagnóstico (10).



**Figura 3:** Câmara de ionização do tipo lápis posicionada no centro do simulador de PMMA durante procedimento de qualidade no tomógrafo.

A leitura dos detectores foi realizada no leitor automatizado Risoe TL/OSL DA 20 (DTU-Nutech) com parâmetros e configuração do equipamento pré-ajustados para avaliação do TLD100. Durante a

leitura foram empregadas uma taxa de aquecimento controlado de 5°C/s e temperatura final de 370°C.

Para converter a intensidade TL em dose, foram utilizados fatores de calibração e correção da energia previamente avaliados para energia de fótons do  $^{60}\text{Co}$  e para a energia efetiva do feixe empregado no exame (80keV), respectivamente.

O fator de calibração foi obtido a partir do inverso da sensibilidade do lote de TLD100. A sensibilidade dos detectores utilizados neste trabalho é de  $(2,6 \pm 0,2) 10^3$  contagens/mGy e foi avaliada utilizando as mesmas condições de tratamento térmico e leitura aplicadas para avaliação das doses neste trabalho.

O fator de correção com respeito a energia utilizado foi de  $(1,129 \pm 0,008)$  previamente avaliado para o TLD100 por Malthez *et. al.* (10).

A partir dos valores médios de dose absorvida na região central e periférica do simulador, foi calculado um valor ponderado; 1/3 para centro e 2/3 para periferia, o qual dividimos por um fator de correção que considera a espessura dos detectores de (3,1 mm) e do corte fornecida pelo equipamento, resultando no  $\text{CTDI}_w$ .

### 3. Resultados

A tabela 1 apresenta os valores de dose absorvida estimados no exame de TC de crânio axial, nas regiões central e periférica (0°) em cada TLD100 posicionado ao longo das colunas de detectores.

**Tabela 1:** Valores de dose obtidos nas regiões central e periférica (0°) do simulador de PMMA avaliadas em cada detector de TLD 100 posicionado ao longo da coluna na região (posições de 1-19)

Nº do TLD100	Dose (mGy)	
	Centro	Periferia (0°)
1	62,8	54,9
2	67,2	56,2
3	93,3	55,2
4	69,3	65,4
5	77,5	62,7
6	74,0	73,5
7	65,9	52,6
8	80,9	64,2
9	52,7	68,1
10	83,7	58,8
11	58,5	61,0
12	70,3	68,5
13	62,3	74,9
14	60,7	66,4
15	65,7	55,3
16	60,3	52,2
17	67,3	52,3
17	44,2	62,3
19	51,9	39,4

As doses absorvidas médias na região central e periférica durante a TC de crânio no modo axial foram estimadas em  $(67 \pm 12)$  mGy e  $(61 \pm 9)$  mGy, respectivamente, a partir da média dos valores apresentados na tabela 1 para cada região. A partir destas doses, foi estimado um  $\text{CTDI}$  de  $(75 \pm 15)$  mGy.

O equipamento forneceu no relatório de dose ao final do exame de crânio adulto um  $\text{CTDI}$  de 73,4 mGy.

#### 4. Discussão

O valor de CTDI calculado a partir da estimativa de dose nos detectores TL é comparável com o valor fornecido pelo equipamento.

Observa-se ainda uma incerteza associada relativamente alta para as doses médias nas regiões central e periféricas. Dado que estas foram avaliadas por meio da estimativa de dose individual dos detectores posicionados ao longo de uma coluna, no lugar das hastes central e periférica, e o espectro largo de energia durante a irradiação. Desse modo já era esperada uma diferença relativamente grande entre os detectores da mesma coluna, bem como entre os valores médios das diferentes posições. Destacamos que foi realizada somente uma única irradiação para se obter os resultados apresentados na Tabela 1, já que os detectores utilizados possuem uma sensibilidade alta. Porém uma melhor estatística pode ser alcançada aumentando o número de exposições.

Os resultados comparáveis entre o valor obtido com os detectores TL e fornecido pelo equipamento, faz com que a utilização dos TLD100 ao invés de câmara de ionização, seja uma alternativa para avaliação do CTDI para fins de avaliação dos parâmetros dosimétricos indicados no console do equipamento. Nestes casos, por exemplo, a avaliação de níveis de referência locais e até mesmo programas de auditoria, se tornam possíveis por meio de avaliações postais, na qual os detectores TL podem ser encaminhados para realização do exame (irradiação) nos diferentes serviços de radiodiagnóstico e remetidos de volta para o órgão fiscalizador. Este pode, por meio das leituras dos detectores TL, avaliar os valores de CTDI e verificar a conformidade com valores de referência pré-estabelecidos ou fazer o levantamento dos níveis de referência em diferentes regiões, por exemplo.

A proposta de utilização dos detectores TL para avaliação postal de índices de dose ou valores associados a qualidade, como já acontece na mamografia e na radioterapia (11,12), envolve um processo de envio de kit, irradiação de acordo com as instruções, retorno e avaliação dos resultados. Embora seja um procedimento relativamente demorado, a maioria dos serviços de saúde e clínicas de radiodiagnóstico não tem disponíveis equipamentos próprios, como câmara de ionização e simuladores para avaliação dos índices de dose, sendo os programas postais com detectores de tamanho reduzido e custo relativamente baixo, como TLD, uma alternativa viável, como já apresentada em estudos com esses detectores, tanto para avaliação de qualidade como para avaliar níveis de referência em radiodiagnóstico (13,14).

Os valores de doses obtidos pelos TL e os valores fornecidos pelo relatório de dose foram maiores do que o recomendado pela IN 55. Esses valores também foram maiores do que o valor típico para um exame de crânio em equipamentos de mesma marca, porém de 64 canais, segundo a AAPM Protocols (CTDI de 60,8 mGy) (15). Devido às diferenças tecnológicas entre os equipamentos e parâmetros do

exame, podem ocorrer dos valores de CTDI não coincidirem, como é o caso.

#### 5. Conclusões

Considerando a importância da qualidade da imagem em CT e o crescente uso desta modalidade em radiodiagnóstico, novas possibilidades de avaliação dos parâmetros dosimétricos são necessárias.

Neste trabalho, utilizando detectores TL de LiF:Mg,Ti foi possível fazer uma estimativa do CTDI em TC de crânio no modo axial compatível com o valor registrado no equipamento.

Os resultados obtidos sugerem a viabilidade de se empregar detectores TL, como o TLD100, para avaliações postais de TC e, embora mais ensaios sejam necessários, é possível pensar em avaliações e levantamento de níveis de referência locais e regionais em radiodiagnóstico utilizando o TLD100. Apesar de ser um método relativamente demorado, este é relativamente de baixo custo e acessível.

Embora a dose obtida neste trabalho seja maior do que recomendado na IN 55 (70 mGy), não foram otimizadas as condições do exame, ressaltando que uma proposta de protocolo otimizado deve ser considerada.

#### Agradecimentos

Ao Centro de Diagnóstico Água Verde (CEDAV) pela utilização do equipamento e a Universidade de São Paulo pela leitura dos detectores.

#### Referências

- Ribeiro, L. P., & Pereira, R. P. (2012). Estudo da dose nos exames de tomografia computadorizada abdominal em um equipamento de 6 cortes \*. 45(5), 326–333.
- Pina, D. R. De, Netto, T. G., Duarte, E., Carbi, O., Toledo, R., & Souza, F. De. (2009). Controle de qualidade e dosimetria em equipamentos de tomografia computadorizada \*. 42(3), 171–177. AAPM. (2008). The Measurement, Reporting, and Management of Radiation Dose in CT.
- UNSCEAR. (2016). UNSCEAR 2016 Report Report to the General Assembly.
- BRASIL. (2019b). RESOLUÇÃO - RDC No 330, DE 20 DE DEZEMBRO DE 2019. <http://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-rdc-n-330-de-20-de-dezembro-de-2019-235414748?inheritRedirect=true>
- BRASIL. (2019a). INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 55, DE 20 DE DEZEMBRO DE 2019. <http://www.in.gov.br/web/dou/-/instrucao-normativa-n-55-de-20-de-dezembro-de-2019-235414684>
- Porto, L. E. (2014). Avaliação da dose em pacientes pediátricos submetidos a exame de tomografia computadorizada. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- BRASIL. (2020). PRODUÇÃO AMBULATORIAL DO SUS - BRASIL - POR LOCAL DE ATENDIMENTO. <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sia/cnv/qauf.def>
- AAPM. The measurement, reporting, and management of radiation dose in CT [AAPM Report 96]. AAPM Task Group 23 of the Diagnostic Imaging Council CT Committee. College Park, MD: American Association of Physicists in Medicine; 2008. <https://doi.org/10.37206/97>
- Vañó, E., Miller, D. L., Martin, C. J., Rehani, M. M., Kang, K., Rosenstein, M., Ortiz-López, P., Mattsson, S., Padovani, R., & Rogers, A. (2017). ICRP Publication 135: Diagnostic Reference Levels in Medical Imaging. *Annals*



- of the ICRP, 46(1), 1–144.  
<https://doi.org/10.1177/0146645317717209>.
10. Malthez, A. L. M. C., Freitas, M. B., Yoshimura, E. M., Umisedo, N. K., & Button, V. L. S. N. (2016). OSL and TL techniques combined in a beryllium oxide detector to evaluate simultaneously accumulated and single doses. *Applied Radiation and Isotopes*, 110, 155–159. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2016.01.015>
  11. Instituto Nacional do Câncer. Programa de Qualidade em Mamografia. Disponível em <https://www.inca.gov.br/programa-qualidade-em-mamografia>. Acesso em julho de 2020.
  12. Instituto Nacional do Câncer. Avaliações Postais do Programa de Qualidade em Radioterapia. Disponível em <https://www.inca.gov.br/publicacoes/apresentacoes/avaliacoes-postais-do-programa-de-qualidade-em-radioterapia>. Acesso em julho de 2020.
  13. Saleh N, *et al.* (2017). 128 slice computed tomography dose profile measurement using thermoluminescent dosimeter. *J. Phys.: Conf. Ser.* 851 012002.
  14. Terini R. A., Nersissian D. Y., Campelo M. C. S. & Yoshimura E. M. (2016). Dosimetria em TC com TLD e Câmaras de Ionização. *Revista Brasileira de Física Médica*, 10(2), 21-24.
  15. AAPM. Adult Routine Head CT Protocols (Version 2.0) Disponível em [www.aapm.org/pubs/CTProtocols/documents/AdultRoutineHeadCT.pdf](http://www.aapm.org/pubs/CTProtocols/documents/AdultRoutineHeadCT.pdf) (2016). Acesso em: setembro de 2020.

**Contato:**

Akemi Yagui  
Faculdades Pequeno Príncipe  
Av. Silva Jardim, 1632 - Água Verde, Curitiba - PR,  
80250-060  
E-mail: [akemiyagui@hotmail.com](mailto:akemiyagui@hotmail.com)