



Instituto Politécnico de Lisboa
Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Lisboa

**Desenvolvimento de um protocolo de avaliação
de doses em exames de Tomografia
Computadorizada Pediátrica do Crânio**

Tássia Guedes Faria

Orientador: Professor Doutor Luís Carvalho Freire – Escola Superior de
Tecnologia da Saúde de Lisboa

Mestrado em Radiações Aplicadas às Tecnologias de Saúde
Área de especialização: Tecnologias de Imagem Digital

Lisboa, 2019

Instituto Politécnico de Lisboa
Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Lisboa

**Desenvolvimento de um protocolo de avaliação
de doses em exames de Tomografia
Computadorizada Pediátrica do Crânio**

Tássia Guedes Faria

Orientador: Professor Doutor Luís Carvalho Freire – Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Lisboa

Júri:

Presidente: Mestre Maria João Carapinha – Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Lisboa

Arguente: Doutor Pedro Peixoto Teles – Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares do Instituto Superior Técnico;

Arguente: Especialista Filomena Gonçalves Batalha – Centro Hospitalar Universitário Lisboa Central.

Orientador: Professor Doutor Luís Carvalho Freire – Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Lisboa

Mestrado em Radiações Aplicadas às Tecnologias de Saúde

Área de especialização: Tecnologias de Imagem Digital

(esta versão incluiu as críticas e sugestões feitas pelo júri)

Lisboa, 2019

Mestrado em Radiações Aplicadas às Tecnologias de Saúde
Área de especialização: Tecnologias de Imagem Digital

Lisboa, 2019

Desenvolvimento de um protocolo de avaliação de doses em exames de Tomografia Computadorizada Pediátrica do Crânio

Mestrado em Radiações Aplicadas às Tecnologias da Saúde – 9ª Edição

A Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Lisboa tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor e que tal não viole nenhuma restrição imposta por artigos publicados que estejam incluídos neste trabalho.

AGRADECIMENTOS

A todos que me ajudaram de alguma forma não apenas neste trabalho, mas em todo o Mestrado.

Ao meu orientador, Professor Doutor Luís Freire, pela sua dedicação, orientação, tempo, críticas e auxílio durante todas as etapas deste trabalho.

Aos técnicos de radiologia, médicos, biomédicos e serviços de radiologia que me ajudaram a realizar as coletas de dados, pelo seu tempo, auxílio e incentivo.

Aos professores do Mestrado por todos os ensinamentos.

À Professora Elizabete Carolino pela disponibilidade e auxílio na análise estatística.

Aos meus pais por todo apoio e carinho mesmo longe, sempre com palavras de incentivo e força.

Ao Miguel por ser meu grande companheiro e por sempre acreditar em mim, e a seus familiares pelo acolhimento e se tornarem minha família portuguesa.

Aos colegas de mestrado, em especial ao Danilo, Ana e Beatriz que se tornaram grandes amigos.

A todos os amigos pelo apoio e incentivo.

RESUMO

O grande número de exames de Tomografia Computadorizada (TC) e as elevadas doses de radiação decorrentes de cada aquisição despertam uma constante preocupação para os valores de dose no paciente, principalmente em pacientes pediátricos. Através dos valores de $CTDI_{vol}$ e DLP, é possível comparar as doses entre diferentes aparelhos de TC e definir valores de referência os quais, infelizmente, não são todavia utilizados na maioria dos países, o que tem como consequência a utilização de protocolos inadequados e com elevadas doses de radiação. **Objetivos:** Identificar e comparar os valores de $CTDI_{vol}$ e DLP para exames pediátricos de crânio em TC encontrados em serviços de radiologia no Estado de Minas Gerais – Brasil. **Metodologia:** Realizou-se a produção de um fantoma simulando um crânio pediátrico e com este, a coleta de dados em 17 serviços de radiologia. A aquisição dos dados foi realizada utilizando os protocolos de rotina de cada serviço para os grupos etários de 0 a 1 ano, >1 ano a 5 anos, >5 anos a 12 anos e >12 anos. **Resultados e Discussão:** Os valores de $CTDI_{vol}$ e DLP coletados foram analisados de forma descritiva por faixa etária, avaliando tendência central, dispersão e distribuição dos dados. Realizada a comparação dos valores médios de $CTDI_{vol}$ entre os protocolos, observou-se uma diferença significativa entre instituições apenas para o grupo >12 anos. Nas cartas de controle, os dados foram analisados por grupo etário, avaliando valores fora dos limites superiores de controle e percentil 75 de cada protocolo. Dividindo os aparelhos de TC por número de cortes, foi realizada uma comparação entre estes. Os valores encontrados revelaram-se inconsistentes e não apresentam uma tendência que permita relacionar os valores de $CTDI_{vol}$ com o número de cortes do aparelho de TC. **Conclusão:** Os resultados obtidos no estudo indicam uma variação significativa das doses de radiação entre os serviços de radiologia participantes. O uso de diferentes protocolos de rotina em cada local, possível inadequação destes e a falta de valores de referências, justificam tal variação e realçam a importância em adequar os protocolos visando a redução das doses de radiação.

Palavras-chave: Tomografia Computadorizada, $CTDI_{vol}$, DLP, TC Pediátrica.

ABSTRACT

The large number of Computed Tomography (CT) scanners and the high doses of radiation absorbed in each acquisition raise a constant concern for dose values in the patient, mainly for pediatric patients. Through the values of $CTDI_{vol}$ and DLP, it is possible to compare the dose values between different CT scanners and to define reference values, which unfortunately are not used in most countries, resulting in the use of inadequate protocols and high doses of radiation. **Objectives:** To identify and compare $CTDI_{vol}$ and DLP values for skull pediatric CT examinations found in radiology services in the State of Minas Gerais - Brazil. **Methodology:** The production of a phantom simulating a pediatric skull was carried out, and with this, the data collection in 17 radiology services. The data acquisition was performed using the routine protocols of each service for protocols from 0 to 1 year, >1 year to 5 years, >5 years to 12 years and >12 years. **Results and Discussion:** The values of $CTDI_{vol}$ and DLP collected were descriptively analyzed by age group of the protocols, evaluating central tendency, dispersion and data distribution. The mean values of $CTDI_{vol}$ were compared between the protocols with a significant difference only for the group > 12 years. In the control charts, the data was analyzed by age group, evaluating values outside the upper control limits and the 75% percentile of each protocol. The comparison was made by dividing the TC scanners by number of slices; the values found are inconsistent and do not present a tendency relating the values of $CTDI_{vol}$ with the CT number of slices. **Conclusion:** The results obtained in this study indicate a variation of radiation doses among the participating radiology services. The use of different routine protocols in each site, the possible inadequacy of these and the lack of reference values justifies such variation and emphasizes the importance of adapting the protocols in order to reduce radiation doses.

Key words: Computed tomography, $CTDI_{vol}$, DLP, Pediatric CT

SUMÁRIO

Agradecimentos	VII
Resumo	IX
Abstract	XI
Sumário	XIII
Índice de Tabela	XV
Índice de Equações	XVII
Índice de figuras	XIX
Índice de abreviaturas e siglas	XXI
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento e Motivação	2
1.2. Objetivos	3
2. Tomografia Computadorizada	5
2.1. Dosimetria em Tomografia Computadorizada	5
3. Metodologia	9
3.1. Coleta de dados para produção do Fantoma	9
3.2. Análise dos dados coletados e escolha de matérias para produção do fantoma	10
3.3. Produção do Fantoma	12
3.4. Coleta de dados	13
4. Resultados e Discussão	15
4.1. Dados de 0 a 1 ano	15
4.1. Dados >1 a 5 anos	17
4.2. Dados >5 a 12 anos	20
4.3. Dados >12 anos	21
4.4. Distribuição de dados	23

4.5. One-Way ANOVA.....	24
4.6. Cartas de Controle dos valores de $CTDI_{vol}$	26
4.7. Comparação por número de cortes.....	29
5. Conclusões	33
Referências Bibliográficas	35

ÍNDICE DE TABELA

Tabela 3.1 Valores médios de Diâmetro Coronal, Sagital, Média Coronal e Sagital, HU Tecidos moles e Tecidos ósseo, dos exames de TC coletados.	11
Tabela 3.2 Frequência e Percentagem dos fabricantes dos equipamentos de TC utilizados.	13
Tabela 3.3 Frequência e Percentagem do número de cortes dos equipamentos de TC utilizados.	13
Tabela 4.1 Valores de $CTDI_{vol}$ e DLP por faixa etária, para os 17 equipamentos de TC estudados.	16
Tabela 4.2 Resumo da estatística descritiva para o protocolo 0 a 1 ano.	18
Tabela 4.3 Resumo da estatística descritiva para o protocolo >1 a 5 anos.	19
Tabela 4.4 Resumo da estatística descritiva para o protocolo >5 a 12 anos.	21
Tabela 4.5 Resumo da estatística descritiva para o protocolo >12 anos.	23
Tabela 4.6 Teste de Normalidade para $CTDI_{vol}$	25
Tabela 4.7 ANOVA e teste de Tukey $CTDI_{vol}$, comparação dos protocolos.	25
Tabela 4.8 Valores de $CDTI_{vol}$ para os equipamentos com 16 cortes, para os diferentes grupos etários.	30
Tabela 4.9 Valores de $CDTI_{vol}$ para os equipamentos com 64 cortes, para os diferentes grupos etários.	30
Tabela 4.10 Valores de $CDTI_{vol}$ para os equipamentos com 128 cortes, para os diferentes grupos etários.	30

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

Equação 2.2.1. CTDI.....	6
Equação 2.2.2. CTDI ₁₀₀	7
Equação 2.2.3. CTDI _w	7
Equação 2.2.4. CTDI _{vol}	7
Equação 2.2.5. Pitch.....	8
Equação 2.2.6. DLP.....	8
Equação 4.1 Coeficiente de variação (CV).....	16
Equação 4.2 Coeficiente de variação dos valores de CTDI _{vol} para o grupo etário de 0 a 1 ano.	16
Equação 4.3 Coeficiente de variação dos valores de DLP para o grupo etário de 0 a 1 ano.	17
Equação 4.4 Coeficiente de variação dos valores de CTDI _{vol} para o grupo etário de > 1 a 5 anos.....	18
Equação 4.5 Coeficiente de variação dos valores de DLP para o grupo etário de >1 a 5 anos.....	18
Equação 4.6 Coeficiente de variação dos valores de CTDI _{vol} para o grupo etário > 5 a 12 anos.....	20
Equação 4.7 Coeficiente de variação dos valores de DLP para o grupo etário de >5 a 12 anos.....	20
Equação 4.8 Coeficiente de variação CTDI _{vol} de > 12 anos.....	22
Equação 4.9 Coeficiente de variação DLP de > 12 anos.....	22

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Aquisição do tubo do Raio X e detector ao longo do Paciente L (comprimento de varrimento do exame) ao longo do eixo Z(20).....	8
Figura 3.1 Medição coronal (linha vermelha) e sagital (linha azul).....	10
Figura 3.2 Medição HU Tecidos moles (círculo vermelho) e Tecidos ósseos (círculo azul).....	11
Figura 3.3 Gráfico valor médio de HU por Grama de gelatina.....	12
Figura 3.4 Imagem do Fantoma Parte Externa de Gesso.	12
Figura 3.5 Imagem de orientação para a realização da TC, medida específica de 120 mm.	14
Figura 4.1 Gráfico dos valores de $CTDI_{vol}$, por ordem crescente, para os diferentes aparelhos de TC, para o protocolo 0 a 1 ano.....	17
Figura 4.2 Gráfico dos valores de $CTDI_{vol}$, por ordem crescente, para os diferentes aparelhos de TC, para o protocolo >1 a 5 anos.....	19
Figura 4.3 Gráfico dos valores de $CTDI_{vol}$, por ordem crescente, para os diferentes aparelhos de TC, para o protocolo >5 a 12 anos.....	21
Figura 4.4 Gráfico $CTDI_{vol}$, valor crescente por TC no protocolo Gráfico dos valores de $CTDI_{vol}$, por ordem crescente, para os diferentes aparelhos de TC, para o protocolo > 12 anos.....	22
Figura 4.5 <i>Boxplot</i> $CTDI_{vol}$ todas as faixas etárias.....	24
Figura 4.6 <i>Boxplot</i> DLP as faixas etárias.....	24
Figura 4.7 Gráfico média de $CTDI_{vol}$ em cada protocolo.	26
Figura 4.8 Carta de Controle $CTDI_{vol}$ para o protocolo 0 a 1 ano.	27
Figura 4.9 Carta de Controle $CTDI_{vol}$ para o protocolo >1 a 5 anos.	27
Figura 4.10 Carta de Controle $CTDI_{vol}$ para o protocolo >5 a 12 anos.	28
Figura 4.11 Carta de Controle $CTDI_{vol}$ para o protocolo >12 anos.	28
Figura 4.12 Gráfico Média $CTDI_{vol}$ por número de cortes da TC.	31
Figura 4.13 Gráfico valor mínimo $CTDI_{vol}$ por número de cortes da TC.....	31
Figura 4.14 Gráfico valor máximo $CTDI_{vol}$ por número de cortes da TC.....	32

ÍNDICE DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
CTDI	Índice de Dose em Tomografia Computadorizada (do inglês <i>Computed Tomography Dose Index</i>)
CTDI_w	Índice de Dose em Tomografia Computadorizada ponderado (do inglês <i>Weighted Computed Tomography Dose Index</i>)
CTDI_{vol}	Índice de Dose Volumétrico em Tomografia Computadorizada (do inglês <i>Volume Computed Tomography Dose Index</i>)
DICOM	Comunicação de Imagens Digitais em Medicina (do inglês <i>Digital Imaging and Communications in Medicine</i>)
DLP	Produto Dose Comprimento (do inglês <i>Dose Length Product</i>)
Gy	Unidade Gray
HU	Unidades de Hounsfield (do inglês <i>Hounsfield Unit</i>)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICRP	Comissão Internacional de Proteção Radiológica (do inglês <i>International Commission on Radiological Protection</i>)
LSC	Limite Superior de Controle
mGy	Unidade miliGray
NBPR	Normas Básicas de Proteção Radiológica
NRD	Níveis de Referência Diagnósticos
TC	Tomografia Computadorizada

1. INTRODUÇÃO

A Tomografia Computadorizada (TC) é uma técnica de diagnóstico por imagem extremamente importante cuja utilização tem registado um aumento crescente desde os anos 90. Este aumento tornou a TC na principal fonte de exposição à radiação em exames de diagnósticos (1), mesmo representando apenas 11% dos procedimentos radiológicos (2). A TC é responsável por mais de 70% da dose efetiva considerando todos os estudos radiológicos, o que evidencia a importância para os cuidados com a radioproteção neste tipo de exames.

Existe uma preocupação com os protocolos pediátricos uma vez que essa população possui grande sensibilidade aos riscos dessa radiação. A longa expectativa de vida e um grande número de células se dividindo, tornam as crianças mais sujeitas aos possíveis riscos e efeitos da radiação comparadas com indivíduos adultos expostos as mesmas doses. Crianças são mais sensíveis a rádioindução da carcinogênese e maior tempo de vida para o desenvolvimento de câncer (3).

Apesar da atual preocupação com as doses TC pediátricas, pesquisas em larga escala e mundiais são limitadas e poucas estabelecem Níveis de Referência Diagnósticos (NRD), realizadas normalmente em países desenvolvidos, com tradição em dosimetria e radioproteção (4). Apesar da recomendação do ICRP para estabelecer NRD, poucos países implantaram ou utilizam essas referências. Usualmente as NRD são dadas através do TC dose index (CTDIvol) e/ou Dose Length Product (DLP), variando os valores de acordo com a faixa etária dos paciente (5).

No Brasil em 1973 as Normas Básicas de Proteção Radiológica (NBPR), aprovadas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear, CNEN, fixando os princípios básicos de radioproteção contra danos do uso das radiações e passa a vigorar os limites de dose recomendados internacionalmente.

A CNEN aprova em 1988 a Norma Diretrizes Básicas de Radioproteção, substituindo a NBPR de 1973, fundando-se no conceito introduzido pela ICRP-26, em que qualquer dose, por menor que seja, está associada a probabilidade de danos estabelece os três princípios de radioproteção: justificação, otimização e limitação de

dose. Sendo substituída em 2005 pela Norma NN-3.01 Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica, em que a CNEN toma por base a Publicação 60 do ICRP, introduzindo alguns novos conceitos e os três princípios passam a ser denominados requisitos, quais sejam, Requisito da Justificação, Requisito da Limitação de Dose Individual e Requisito da Otimização (6).

O uso de protocolos indevidos muitas vezes sujeita os pacientes pediátricos a exposição de altas doses e sem qualquer restrição comparadas com protocolos adultos. Alguns estudos indicam que jovens crianças expostas a CTDIvol e DLP similares a crianças maiores e adultos em casos que os protocolos não são ajustados (7–10).

O conhecimento de doses de referências em TC são importantes para conscientização dos profissionais não apenas para a redução das doses mas para se definir quando e se necessário o exame de TC, evitando aquisições desnecessárias e quando possível a troca por outros métodos diagnósticos, considerando que até mesmo a exposição a baixas doses de radiação para esse grupo pediátrico apresenta riscos (11).

As TC de crânio representam a maior parte dos exames pediátricos realizados em todos os serviços. Comparar e avaliar os valores em diferentes serviços e países permite observar se existe uma variação significativa e indicar a importância na criação e padronização de protocolos pediátricos e estipular valores de referência desejáveis.

1.1. Enquadramento e Motivação

A preocupação com os valores de dose resultante de exames de TC tem tido um aumento significativo nos últimos anos principalmente com doentes pediátricos, uma vez que os exames de TC são responsáveis por uma percentagem significativa da dose de Radiação X recebida pela espécie humana. Valores de referências estipulados por organizações para estes exames são recentes e muitos países não fazem uso de qualquer destes valores ou ignoram as recomendações internacionais.

No Brasil a legislação básica que orienta os profissionais é a Portaria 453 de 01/07/1998 (12) que estabelece as diretrizes básicas de proteção radiológica em radiodiagnóstico médico e odontológico e que dispõe sobre o uso dos raios X diagnósticos em todo território nacional. O regulamento não prevê limites para pacientes, porém define aspectos importantes a segurança e proteção dos pacientes

como adoção de níveis de referência de doses para todos exames radiodiagnósticos incluindo a TC, apesar disso frequentemente não são utilizados valores de referência e muitos serviços de radiologia trabalham com protocolos errados, o que leva frequentemente a situações de sub ou sobre-exposição, com o conseqüente aumento da dose recebida pelo paciente - no primeiro caso, as imagens são desadequadas para diagnóstico sendo necessárias novas aquisições. Em pacientes pediátricos, o aumento dos riscos associados ao aumento da dose é maior dada a maior radiovulnerabilidade destes doentes, o que reforça a importância de implementar um protocolo de avaliação das doses recebidas durante os diferentes tipos de exames.

1.2. Objetivos

O trabalho tem como objetivo demonstrar a importância da padronização de protocolos de Tomografia Computadorizada para a realização de exames pediátricos de crânio.

Para isso, procurar-se-á avaliar as doses emitidas, com recurso a um fantoma de cabeça pediátrico desenvolvido para este efeito, procurando comparar, entre diversos serviços de radiologia, se existe uma variação significativa entre as doses decorrentes dos protocolos utilizados.

2. TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA

A técnica de TC revolucionou os estudos radiológicos, proporcionando a visualização de estruturas anatómicas, nos planos sagital, coronal e axial. Esta técnica permite distinguir diferentes densidades da ordem de 0,5% entre tecidos, ao passo que na radiologia convencional este limiar situa-se em torno de 5% (13,14). É capaz de fornecer informações anatómicas detalhadas partindo do princípio de que diferentes tipos de tecidos, dependendo da sua composição e densidade, absorvem diferentes quantidades de Raios-X; tecidos mais densos absorvem mais radiação do que tecidos menos densos (15).

A técnica baseia-se em um tubo de Raios-X, girando e emitindo radiação em torno do paciente, num plano axial. Enquanto isso, um conjunto de detectores posicionados no lado oposto do tubo capta os fótons X que conseguem atravessar o paciente. Em seguida, um algoritmo de reconstrução, composto por uma sequência de instruções matemáticas, converte os sinais medidos pelos detectores numa imagem tomográfica (16). A imagem de TC corresponde a um mapeamento linear de atenuação da secção do corpo humano em estudo. É apresentada como uma matriz bidimensional em que, a cada pixel, é atribuído um valor numérico, denominado número de TC, o qual é expresso em Unidades de *Hounsfield* (HU) (15,16). A cada HU corresponde um nível de cinzento, existindo ao todo 4096 tonalidades de cinzento (17).

2.1. Dosimetria em Tomografia Computorizada

A utilização dos equipamentos de TC apresenta grandes benefícios em diagnósticos da saúde, porém deve-se estar atento que os equipamentos utilizam radiação ionizante e a dose recebida pelos pacientes é considerada alta quando

comparada a outros exames radiológicos de diagnóstico. Além disso, ao contrário da radiografia convencional, onde o excesso de radiação pode prejudicar a qualidade do resultado, na TC, devido ao processo matemático de reconstrução, quanto maior a dose de radiação, menor o ruído na imagem e conseqüentemente uma melhor qualidade, não existindo um controlador natural do excesso de doses (16,18).

Devido às diferenças, em termos de emissão de radiação X nos equipamentos de TC em relação aos equipamentos convencionais de radiologia, tornou-se necessário a introdução de grandezas dosimétricas específicas para TC, a saber, o Índice de Dose em Tomografia Computadorizada (CTDI - *Computed Tomography Dose Index*) e o Produto Dose Comprimento (DLP – *Dose Length Product*).

2.1.1. CTDI

A grandeza CTDI é utilizada para medir, comparar e comunicar a saída de radiação de um equipamento de TC, permitindo assim estimar e contribuir para a redução de dose absorvida pelo paciente, além de permitir comparar a emissão de dose em diferentes aparelhos. A grandeza CTDI é definida pela equação:

Equação 2.2.1. CTDI

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

a qual faz uso do integral da dose absorvida $D(z)$ ao longo de uma linha paralela ao eixo de rotação Z, dividido pelo número (N) e espessura (T) de cortes. A unidade na qual a grandeza CTDI é expressa é o mGy (miligray) (19).

2.1.2. CTDI₁₀₀

A grandeza CTDI₁₀₀ é medida utilizando uma câmara de ionização, do tipo lápis, de 100 mm de comprimento, e representa a dose acumulada do varrimento ao centro numa largura de irradiação de 100 mm. As câmaras de ionização são colocadas no centro e na periferia do fantoma, sendo que o fantoma de cabeça possui 16 cm de diâmetro e o de corpo 32 cm de diâmetro (20). A grandeza CTDI₁₀₀ é definida pela equação:

Equação 2.2.2. CTDI₁₀₀

$$CTDI_{100} = \frac{1}{NT} \int_{-50mm}^{+50mm} D(z) dz$$

Nesta equação, os limites de integração são de ± 50 mm, e a unidade utilizada na qual a grandeza CTDI₁₀₀ é expressa é o mGy (20). Pelo facto de não levar em consideração a variação topográfica de um corpo humano, esta grandeza não é utilizada clinicamente (21).

2.1.3. CTDI_w

A grandeza CTDI apresenta uma variação relativamente à profundidade; por exemplo, num fantoma de corpo com 32 cm, a dose na periferia é quase o dobro quando comparada com a dose na parte central; no fantoma de cabeça com 16 cm de diâmetro, esta diferença não é tão significativa. Considerando essa variação relacionada com a profundidade, utiliza-se uma grandeza de CTDI ponderada, designada CTDI_w (22), a qual é definida pela equação:

Equação 2.2.3. CTDI_w

$$CTDI_w = \frac{1}{3} CTDI_{100,c} + \frac{2}{3} CTDI_{100,p}$$

em que CTDI_{100,c} corresponde ao valor da grandeza CTDI₁₀₀ central e CTDI_{100,p} corresponde ao valor da grandeza CTDI₁₀₀ medida na periferia. O valor assim calculado está mais próximo do perfil de dose habitualmente obtido (21). A unidade em que a grandeza CTDI_w é expressa é o mGy (20).

2.1.4. CTDI_{vol}

Para os equipamentos de TC helicoidais, a grandeza CTDI_{vol}, é a mais utilizada nos dias de hoje. Esta grandeza é definida pela equação:

Equação 2.2.4. CTDI_{vol}

$$CTDI_{vol} = \frac{CTDI_w}{pitch}$$

sendo o *pitch* dado pelo movimento da mesa por rotação, I , dividido pelo produto entre a espessura do corte, T , e o número de cortes, N (22), de acordo com a equação:

Equação 2.2.5. Pitch

$$Pitch = \frac{I}{N \times T}$$

A unidade utilizada para a grandeza $CTDI_{vol}$ é o mGy (20).

2.1.5. DLP

A grandeza DLP é dada pelo produto do $CTDI_{vol}$ e o comprimento de varrimento do exame (ilustrado na Figura 2.1). É definido pela equação:

Equação 2.2.6. DLP

$$DLP = CTDI_{vol} \times L$$

A unidade na qual a grandeza DLP é expressa é o mGy.cm (20).

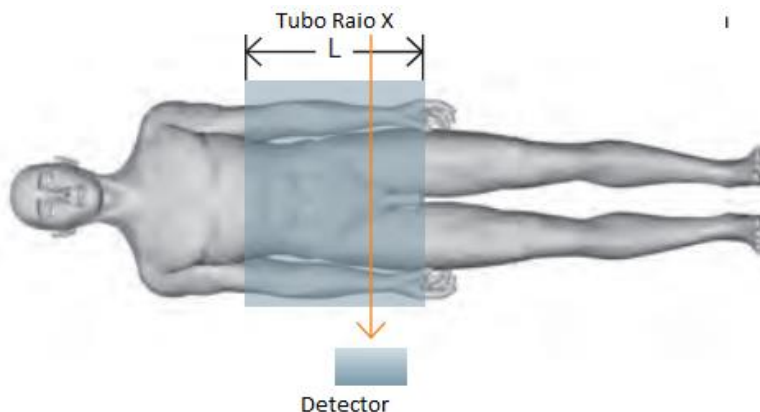


Figura 2.1 Aquisição do tubo do Raio X e detector ao longo do Paciente L (comprimento de varrimento do exame) ao longo do eixo Z(20).

3. METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho foi definida a seguinte cronologia:

- Coleta de dados para produção do Fantoma;
- Análise dos dados coletados e escolha de materiais para a produção do fantoma;
- Produção do fantoma;
- Realização das aquisições de imagens de TC nos diferentes serviços de radiologia;
- Análise dos dados coletados. Todos os serviços de radiologia utilizados neste trabalho foram anonimizados cumprindo assim as regras de sigilo exigidas pelos mesmos.

Para a visualização, realização de medidas, análises e coletas de dados dos exames de TC, foram utilizados os seguintes programas:

- *MicroDicom Viewer*¹;
- *ImageJ*²;
- *Software SPSS*;
- *Microsoft Office Excel*.

3.1. Coleta de dados para produção do Fantoma

Para definir os valores de referência foram coletados os dados de 30 exames de TC, em um serviço de radiologia. Foi realizado uma seleção no sistema de

¹ Software gratuito disponível no Site: <http://www.microdicom.com/downloads.html>

² Software gratuito disponível no Site: <https://imagej.nih.gov/ij/download.html>

armazenamento do serviço, exames de pacientes entre 0 e 5 anos, os exames foram gravados de forma anônima em mídia (CD).

3.2. Análise dos dados coletados e escolha de matérias para produção do fantoma

De entre os exames coletados, foi realizada a medição dos valores de HU de Tecidos moles e Tecidos ósseo, e dimensões de um crânio infantil. Em cada exame foi selecionada a imagem axial com maior diâmetro da região cerebral e realizadas as seguintes medições:

- Diâmetro coronal (ver Figura 3.1);
- Diâmetro sagital (ver Figura 3.1);
- Valor médio de HU na região de Tecidos moles, região cerebral (ver Figura 3.2);
- Valor médio de HU na Região de Tecidos ósseos, calota craniana (ver Figura 3.2).

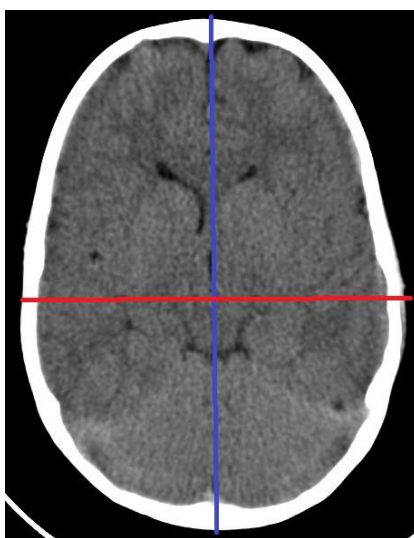


Figura 3.1 Medição coronal (linha vermelha) e sagital (linha azul)

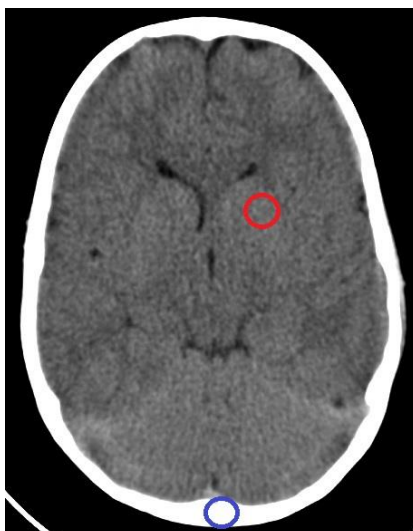


Figura 3.2 Medição HU Tecidos moles (círculo vermelho) e Tecidos ósseos (círculo azul)

Com os dados obtidos foi possível definir um valor médio de diâmetro Coronal e Sagital, e valor médio de HU para Tecidos moles e Tecidos ósseo (ver Tabela 3.1).

Tabela 3.1 Valores médios de Diâmetro Coronal, Sagital, Média Coronal e Sagital, HU Tecidos moles e Tecidos ósseo, dos exames de TC coletados.

Diâmetro Coronal mm Média	Diâmetro Sagital mm Média	Média Coronal e Sagital Média	Tecidos moles HU Média	Tecidos ósseo HU Média
104,63	134,83	119,73	26,33	545,90

Considerando o diâmetro médio de 119,73 mm, foi selecionado um molde redondo com diâmetro de 120mm para confecção do fantoma. Para a parte externa do molde foi utilizado gesso (sulfato de cálcio semi-hidratado CaSO_4 0,5 H_2O e aditivos(23); a escolha do material foi referenciada no trabalho de Hazelaar (24) que utilizou o gesso para simular a tecidos ósseo na produção de um Fantoma de Tórax com o valor médio de 731 HU (24).

Para preencher o fantoma, foi utilizada a gelatina em pó na concentração de 10 g para cada 100 mL de água. Esta escolha teve por base a aquisição de uma imagem de TC de 5 recipientes contendo diferentes concentrações de gelatina e água (Figura 3.3). Por apresentar o valor médio de 17 HU, a concentração de 10 g por 100 mL foi

escolhida devido ao facto de apresentar o valor mais aproximado do encontrado nos exames de TC analisados.

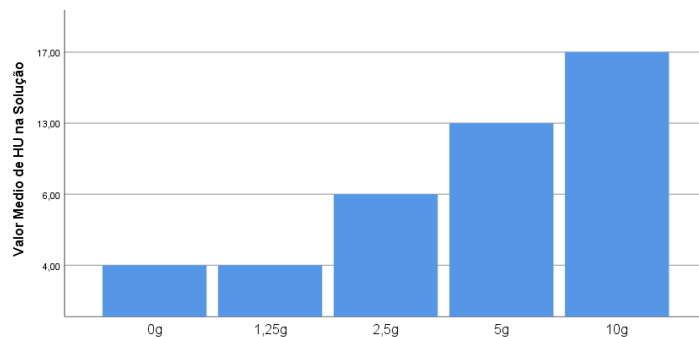


Figura 3.3 Gráfico valor médio de HU por Grama de gelatina.

3.3. Produção do Fantoma

Utilizando o molde e material (tecidos ósseo – gesso) selecionados, foi produzida a parte externa do fantoma (Figura 3.4) e posteriormente preenchido com o material (tecidos Moles – gelatina e água, tendo no final sido selado com gesso.



Figura 3.4 Imagem do Fantoma Parte Externa de Gesso.

3.4. Coleta de dados

A coleta de dados foi realizada em 17 Equipamentos Multi-Cortes de TC em serviços de Radiologia de três cidades no Estado de Minas Gerais – Brasil, os quais não serão identificados. Segundo o IBGE, a população estimada para o estado de Minas Gerais é de 21.040.662 pessoas em 2018 (25); não foi, todavia, possível estimar o número de equipamentos de TC neste estado. Afim de manter o anonimato dos serviços e dos equipamentos de TC utilizados, estes não serão descritos individualmente quanto a marca e número de cortes.

Foram utilizados 6 equipamentos de TC do fabricante *Siemens*, 3 equipamentos do fabricante *General Electric* (GE) e 8 equipamentos do fabricante *Toshiba* – ver Tabela 3.2. De entre estes equipamentos, 6 possuem 16 cortes, 2 possuem 64 cortes e 9 possuem 128 cortes – ver Tabela 3.3.

Os serviços trabalham de acordo com os parâmetros definidos pela Portaria 453, seguindo as diretrizes de radioproteção e normas desta, a qual define requisitos, autorizações, treinamentos e procedimentos de controle de qualidade. Cada serviço possui um contrato específico com cada fabricante, que define a periodicidade das manutenções dos aparelhos e os procedimentos controle de qualidade.

Tabela 3.2 Frequência e Percentagem dos fabricantes dos equipamentos de TC utilizados.

	Frequência	Percentagem
Toshiba	8	47,1
Siemens	6	35,3
GE	3	17,6
Total	17	100,0

Tabela 3.3 Frequência e Percentagem do número de cortes dos equipamentos de TC utilizados.

	Frequência	Percentagem
16	6	35,3
64	2	11,8
128	9	52,9
Total	17	100,0

Conforme mencionado anteriormente, o presente estudo tem como objetivo identificar os valores de dose encontrados na rotina de diferentes serviços de radiologia. Como o objetivo é observar a real dosagem obtida em cada serviço, a equipe técnica foi instruída para utilizar exatamente os protocolos e parâmetros próprios de rotina, simulando exames para as seguintes faixas etárias:

- 0 a 1 ano de idade;
- >1 a 5 anos de idade;
- >5 a 12 anos de idade;
- >12 anos de idade.

A única especificação para a aquisição foi realizar a aquisição da TC com 120 mm conforme orientação - ver Figura 3.5. Todos os serviços utilizam os protocolos de adultos para >12 anos de idade, podendo essa faixa etária ser considerada para maiores de 12 anos e adultos.

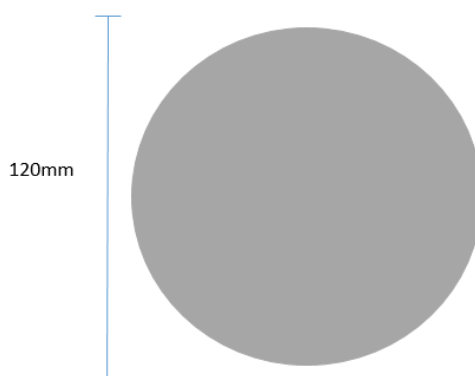


Figura 3.5 Imagem de orientação para a realização da TC, medida específica de 120 mm.

Os dados coletados durante a aquisição das imagens de TC foram gravados em mídia (CD ou DVD) no formato DICOM.

As doses registradas pelo aparelho de $CTDI_{vol}$ e DLP foram guardadas em dispositivos portáteis e 2 aparelhos não permitiram a gravação dos valores de $CTDI_{vol}$ e DLP devido à configuração do serviço de armazenamento dos serviços de radiologia. Para estes dois serviços as doses foram registradas manualmente e impressas em papel fotográfico.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme mencionado na metodologia, as aquisições foram realizadas de acordo com o protocolo de rotina de cada serviço, dessa forma o objetivo seria identificar as doses utilizadas em cada serviço uma vez que não são utilizados protocolos padrões. A Tabela 4.1 apresenta os valores de $CTDI_{vol}$ e DLP por faixa etária, coletados nos 17 equipamentos de TC. A seguir os dados serão analisados de acordo com a faixa etária e com o equipamento. Os valores serão analisados de forma descritiva por faixa etária quanto a:

- Tendência central:
 - Média e mediana.
- Dispersão:
 - Menor e maior valor encontrado;
 - Intervalo;
 - Desvio Padrão.
- Distribuição de dados.
- Cartas de Controle.
- Anova.

No final, os resultados são comparados por quantidade de cortes de cada equipamento de TC.

4.1. Dados de 0 a 1 ano

A Figura 4.1 apresenta o gráfico com os valores de $CTDI_{vol}$, por ordem crescente, nos 17 equipamentos de TC dos diferentes serviços utilizando os protocolos de 0 a 1 ano.

Tabela 4.1 Valores de CTDI_{vol} e DLP por faixa etária, para os 17 equipamentos de TC estudados.

TC		Idade Protocolo							
		0 a 1 ano		>1 a 5 anos		>5 a 12 anos		>12 anos	
		CTDI _{vol}	DLP	CTDI _{vol}	DLP	CTDI _{vol}	DLP	CTDI _{vol}	DLP
TC1	29,00	408,70	29,00	408,70	29,00	408,70	54,20	762,40	
TC2	56,21	793,70	56,21	793,70	56,21	793,70	53,56	756,28	
TC3	52,30	735,70	52,30	735,70	52,30	735,70	65,40	919,60	
TC4	46,61	658,15	46,61	658,15	46,61	658,15	60,25	850,78	
TC5	23,39	327,90	39,70	555,70	39,70	555,70	88,50	555,70	
TC6	28,60	405,69	52,29	761,89	52,29	761,89	52,29	761,89	
TC7	24,00	398,40	24,00	398,40	32,00	531,20	77,29	1175,09	
TC8	20,60	290,10	20,60	290,10	20,60	290,10	83,70	1176,50	
TC9	14,06	194,31	14,06	194,31	54,39	749,06	54,39	749,06	
TC10	52,93	733,60	52,93	733,60	52,93	733,60	52,93	733,60	
TC11	26,69	372,69	26,69	372,69	26,69	372,69	26,69	372,69	
TC12	20,17	334,90	31,46	522,31	31,46	522,31	31,46	522,31	
TC13	35,04	467,00	35,04	467,00	35,04	467,00	35,04	467,00	
TC14	36,88	514,47	39,38	549,43	39,38	549,43	48,60	678,05	
TC15	46,29	651,60	52,29	735,70	52,29	735,70	65,40	906,60	
TC16	20,19	277,20	33,50	459,30	44,20	631,60	44,20	631,60	
TC17	16,88	219,39	16,88	219,39	39,01	219,39	58,29	757,89	

O resumo da estatística descritiva destes resultados é apresentada na Tabela 4.2. Para este protocolo, a média dos valores de CDTI_{vol} foi de 32,34 mGy, a mediana de 28,60 mGy e o desvio padrão de 13,76 mGy. Calculando o coeficiente de variação através da Equação 4.1, este apresenta uma variação de 43% entre os valores (Equação 4.1).

Equação 4.1 Coeficiente de variação (CV).

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100$$

Equação 4.2 Coeficiente de variação dos valores de CDTI_{vol} para o grupo etário de 0 a 1 ano.

$$CV = \frac{13,77}{32,34} \times 100 = 43\%$$

O menor valor de CDTI_{vol} foi 14,06 mGy e o maior 56,21 mGy, o que corresponde a um intervalo de 42,15 mGy.

Para este mesmo protocolo, a média dos valores de DLP foi de 457,85 mGy.cm e a mediana de 405,69 mGy.cm; o desvio padrão foi de 190,72 mGy.cm. Calculando o coeficiente de variação (Equação 4.3), este apresenta uma variação de 42% entre os valores.

Equação 4.3 Coeficiente de variação dos valores de DLP para o grupo etário de 0 a 1 ano.

$$CV = \frac{190,72}{457,85} \times 100 = 42\%$$

O menor valor de DLP foi 194,31 mGy.cm e o maior 793,70 mGy.cm, o que significa um intervalo de 599,39 mGy.cm. Refira-se, por exemplo, que neste caso, o intervalo é cerca de 3 vezes maior do que o valor mínimo.

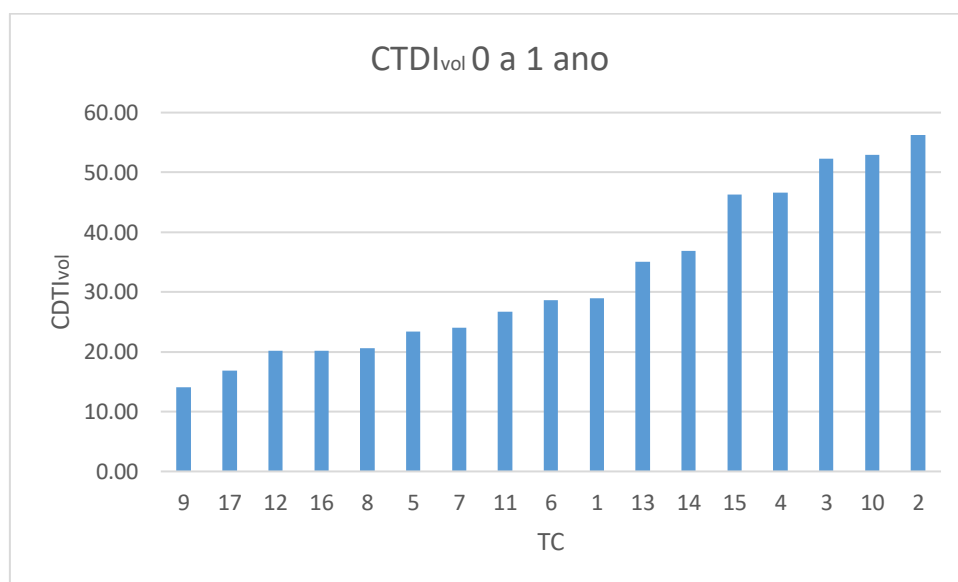


Figura 4.1 Gráfico dos valores de CTDI_{vol}, por ordem crescente, para os diferentes aparelhos de TC, para o protocolo 0 a 1 ano.

4.1. Dados >1 a 5 anos

No que respeita ao protocolo >1 a 5 anos, a Figura 4.2 apresenta o gráfico com os valores de CTDI_{vol}, por ordem crescente, para os 17 equipamentos de TC considerados neste trabalho.

O resumo da estatística descritiva destes resultados é apresentada na Tabela 4.2. Para este protocolo, a média do CTDI_{vol} foi de 36,64mGy e a mediana de 35,04 mGy; o desvio padrão foi de 13,72 mGy. Calculando o coeficiente de variação (Equação 4.4), este apresenta uma variação de 37% entre os valores.

Tabela 4.2 Resumo da estatística descritiva para o protocolo 0 a 1 ano.

		CTDI _{vol}	DLP
N	Válido	17	17
	Omisso	0	0
Média		32,3435	457,8529
Mediana		28,6000	405,6900
Desvio Padrão		13,76526	190,72235
Variância		189,482	36375,014
Assimetria		,527	,492
Intervalo		42,15	599,39
Mínimo		14,06	194,31
Máximo		56,21	793,70
Percentis	25	20,3950	309,0000
	50	28,6000	405,6900
	75	46,4500	654,8750

Equação 4.4 Coeficiente de variação dos valores de CTDI_{vol} para o grupo etário de > 1 a 5 anos.

$$CV = \frac{13,72}{36,64} \times 100 = 37\%$$

O menor valor de CTDI_{vol} foi 14,06 mGy e o maior 56,21 mGy, com um intervalo de 42,15 mGy.

Para este protocolo, a média do DLP foi de 520,94 mGy.cm e mediana 522,31mGy.cm; o desvio padrão foi de 193,32mGy.cm. Calculando o coeficiente de variação (Equação 4.5), este apresenta uma variação de 37% entre os valores.

Equação 4.5 Coeficiente de variação dos valores de DLP para o grupo etário de >1 a 5 anos.

$$CV = \frac{193,32}{520,94} \times 100 = 37\%$$

O menor valor de DLP foi 194,31mGy.cm e o maior 793,70mGy.cm, com um intervalo de 599,39mGy.cm. De notar que estes valores máximos e mínimos de CTDI_{vol} e de DLP são iguais aos obtidos para o protocolo 0 a 1 ano o que significa que as instituições nos quais estes valores foram registados implementam os mesmos protocolos para ambos os grupos etários.

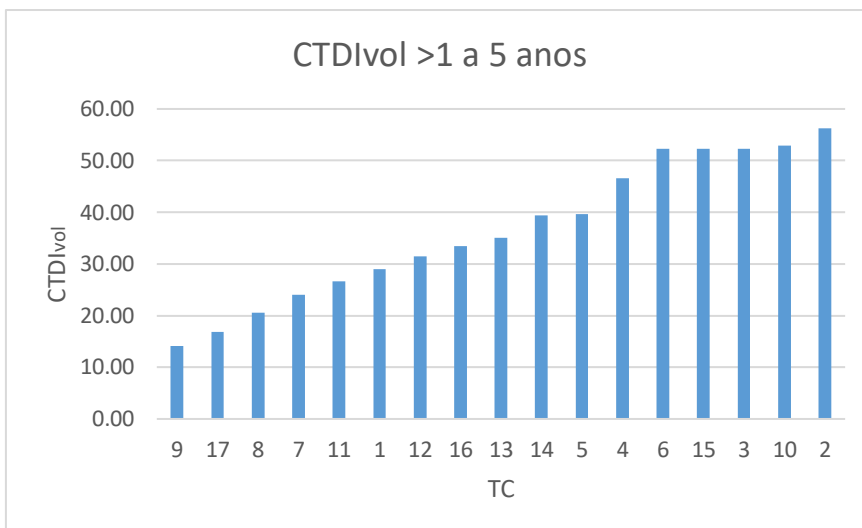


Figura 4.2 Gráfico dos valores de CTDI_{vol}, por ordem crescente, para os diferentes aparelhos de TC, para o protocolo >1 a 5 anos.

Tabela 4.3 Resumo da estatística descritiva para o protocolo >1 a 5 anos.

		CTDI _{vol}	DLP
N	Válido	17	17
	Omisso	0	0
Média		36,6435	520,9453
Mediana		35,0400	522,3100
Desvio Padrão		13,72427	193,32274
Variância		188,356	37373,682
Assimetria		-,073	-,148
Intervalo		42,15	599,39
Mínimo		14,06	194,31
Máximo		56,21	793,70
Percentis	25	25,3450	385,5450
	50	35,0400	522,3100
	75	52,2900	734,6500

4.2. Dados >5 a 12 anos

No caso de protocolo >5 a 12 anos, a Figura 4.3 apresenta o gráfico com os valores de $CTDI_{vol}$, por ordem crescente, para os 17 equipamentos de TC considerados neste trabalho.

Na Tabela 4.4. é apresentado o resumo da estatística descritiva dos resultados para este protocolo; a média e a mediana dos valores de $CDTI_{vol}$ foi de 41,41 mGy e de 39,70 mGy, respetivamente e o desvio padrão foi de 11,05 mGy. Calculando o coeficiente de variação (Equação 4.6), este apresenta uma variação de 26% entre os valores.

Equação 4.6 Coeficiente de variação dos valores de $CTDI_{vol}$ para o grupo etário > 5 a 12 anos.

$$CV = \frac{11,05}{41,41} \times 100 = 26\%$$

Os valores de $CTDI_{vol}$ mínimo e máximo foram, respetivamente, de 20,60 mGy e 56,21 mGy, aos quais corresponde um intervalo de 35,61 mGy.

No caso dos valores de DLP, a média foi de 571,52 mGy.cm e a mediana de 555,70 mGy.cm. O desvio padrão foi a 175,60 mGy.cm. Calculando o coeficiente de variação (Equação 4.7), este apresenta uma variação de 30% entre os valores.

Equação 4.7 Coeficiente de variação dos valores de DLP para o grupo etário de >5 a 12 anos.

$$CV = \frac{175,60}{571,52} \times 100 = 30\%$$

O menor valor de DLP foi 219,39 mGy.cm e o maior 793,70 mGy.cm, com um intervalo de 574,31 mGy.cm.

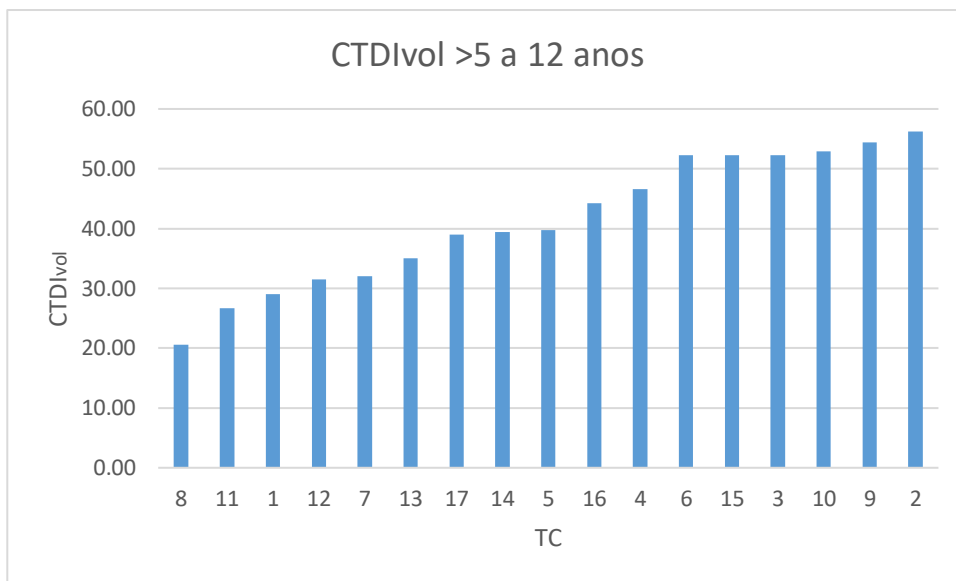


Figura 4.3 Gráfico dos valores de $CTDI_{vol}$, por ordem crescente, para os diferentes aparelhos de TC, para o protocolo >5 a 12 anos.

Tabela 4.4 Resumo da estatística descritiva para o protocolo >5 a 12 anos.

		CTDI _{vol}	DLP
N	Válido	17	17
	Omisso	0	0
Média		41,4176	571,5247
Mediana		39,7000	555,7000
Desvio Padrão		11,05404	175,60005
Variância		122,192	30835,378
Assimetria		-,277	-,550
Intervalo		35,61	574,31
Mínimo		20,60	219,39
Máximo		56,21	793,70
Percentis	25	31,7300	437,8500
	50	39,7000	555,7000
	75	52,2950	735,7000

4.3. Dados >12 anos

A Figura 4.1 apresenta, para o protocolo >12 anos, o gráfico com os valores de $CTDI_{vol}$, por ordem crescente, para os 17 equipamentos de TC considerados neste trabalho.

O resumo da estatística descritiva está apresentado na Tabela 4.5, na qual se pode ver que a média dos valores de $CTDI_{vol}$ foi de 56,01 mGy, a mediana de 54,20 mGy e o desvio padrão de 16,96 mGy. Calculando o coeficiente de variação (Equação 4.8), este apresenta uma variação de 30% entre os valores.

Equação 4.8 Coeficiente de variação $CTDI_{vol}$ de > 12 anos

$$CV = \frac{16,96}{56,01} \times 100 = 30\%$$

É ainda possível ver que o menor valor de $CTDI_{vol}$ foi 26,69 mGy e o maior foi de 88,50 mGy, o que correspondem a um intervalo de 61,81 mGy.

No caso dos valores de DLP, para este protocolo, a média foi de 751,59 mGy.cm e a mediana de 756,28 mGy.cm; o desvio padrão foi igual a 217,64 mGy.cm. Calculando o coeficiente de variação (Equação 4.9), obteve-se um valor de 29%.

Equação 4.9 Coeficiente de variação DLP de > 12 anos

$$CV = \frac{217,64}{751,59} \times 100 = 29\%$$

O menor valor de DLP foi 372,69 mGy.cm e o maior 1176,50 mGy.cm, com um intervalo de 803,81 mGy.cm.

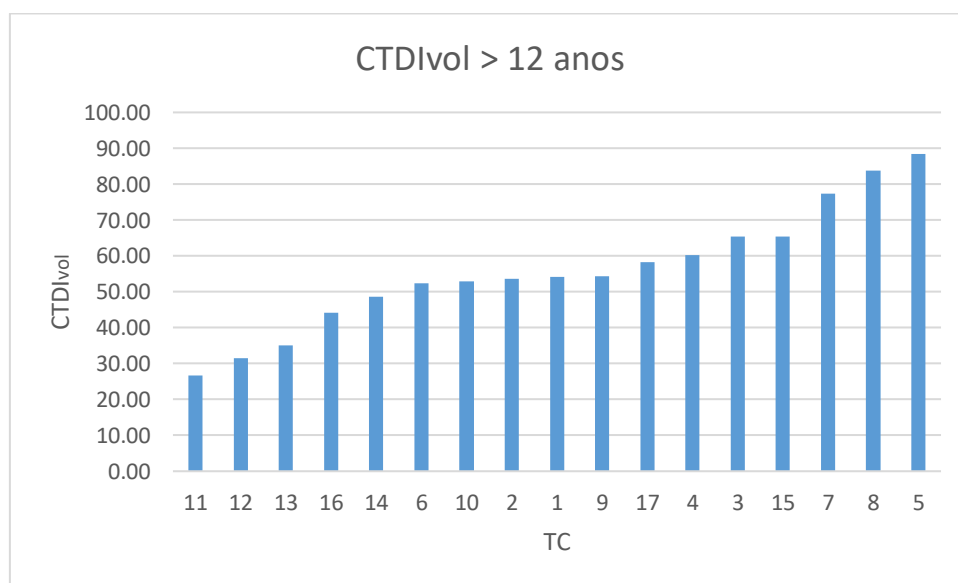


Figura 4.4 Gráfico $CTDI_{vol}$, valor crescente por TC no protocolo Gráfico dos valores de $CTDI_{vol}$, por ordem crescente, para os diferentes aparelhos de TC, para o protocolo > 12 anos.

Tabela 4.5 Resumo da estatística descritiva para o protocolo >12 anos.

		CTDI _{vol}	DLP
N	Válido	17	17
	Omisso	0	0
Média		56,0112	751,5906
Mediana		54,2000	756,2800
Desvio Padrão		16,96764	217,64567
Variância		287,901	47369,635
Assimetria		,225	,433
Intervalo		61,81	803,81
Mínimo		26,69	372,69
Máximo		88,50	1176,50
Percentis	25	46,4000	593,6500
	50	54,2000	756,2800
	75	65,4000	878,6900

4.4. Distribuição de dados

A

apresenta o *Boxplot* dos valores de CTDI_{vol} para todas as faixas etárias; pode-se ver que todas apresentam uma dispersão assimétrica positiva e não apresentam nenhum valor atípico, sem valores *outliers*.

A Figura 4.6 apresenta o *Boxplot* dos valores de DLP para todas as faixa etárias; nesta, pode-se ver que os protocolos até 12 anos apresentam um dispersão assimétrica positiva, e que apenas o protocolo >12 anos apresenta uma dispersão assimétrica negativa. Em ambos os casos, não existem valores atípicos.

Como era esperado, os valores de CDTI_{vol} e DLP tendem a aumentar com a idade, mas é possível observar que os valores máximo para os 3 primeiros protocolos são iguais, indicando que vários serviços trabalham com a mesma dose para todas as faixas etárias. Aliás, isto é facilmente verificável através da Tabela 4.1, na qual se observa que, dos 17 equipamentos de TC estudados, 8 registam valores iguais para os 3 primeiros protocolos e que, destes 8, 3 registam valores iguais para os 4 protocolos. Esta situação não seria grave se os valores registados fossem baixos

comparativamente às médias mas, na verdade, caracterizam-se por serem valores próximos ou acima das respectivas médias por grupo etário.

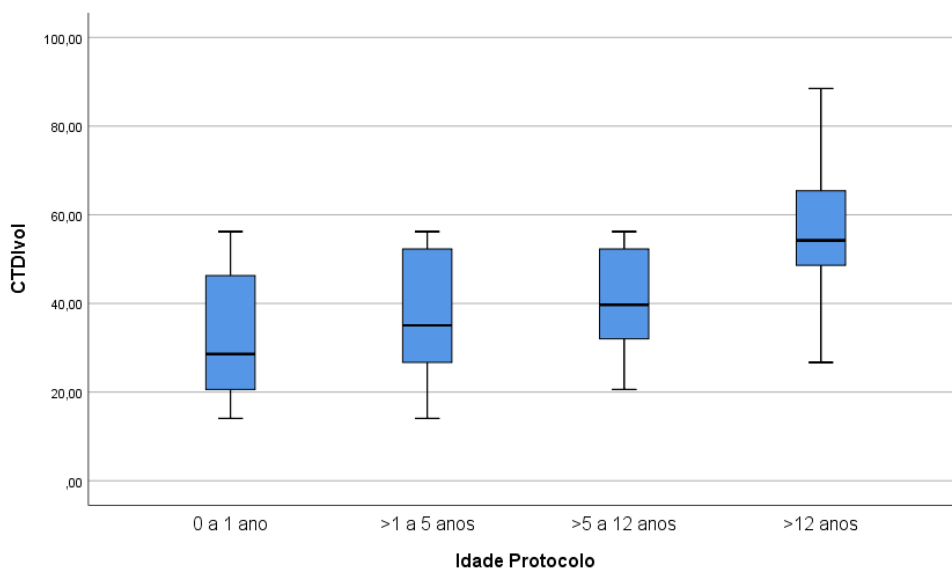


Figura 4.5 *Boxplot* CTDI_{vol} todas as faixas etárias.

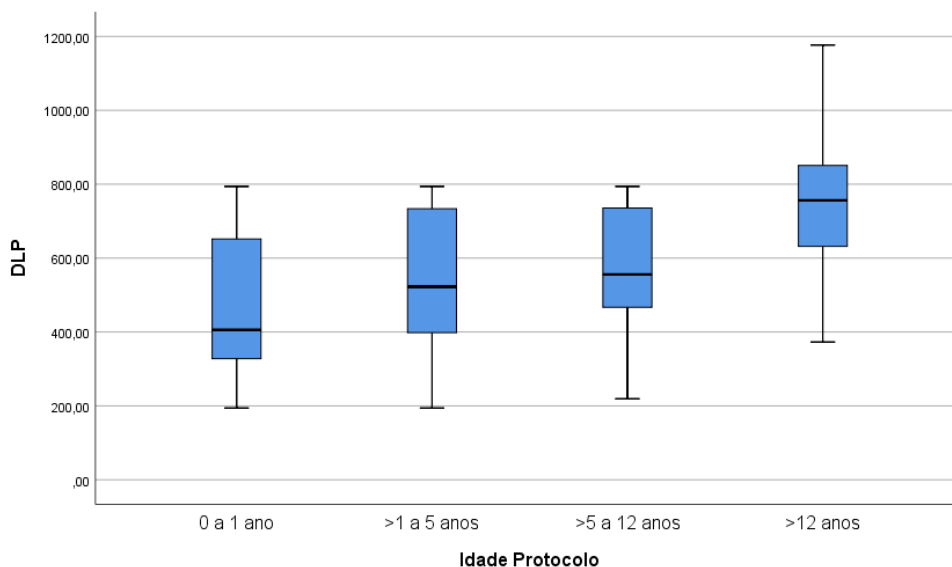


Figura 4.6 *Boxplot* DLP as faixas etárias.

4.5. One-Way ANOVA

Para os valores de CTDI_{vol}, foi realizado o teste de normalidade (Tabela 4.6) dos dados e apresentando um resultado normalizado, através do teste *One-Way ANOVA* (

Tabela 4.7), afim de comparar o valor médio dos resultados obtidos entre todos os protocolos.

O teste ANOVA apresentou um valor *Sig* de ,000 o qual, sendo $<0,05$, indica que existe uma diferença significativa entre os resultados. Para identificar qual ou quais os protocolos que apresentavam diferenças significativas, foi então realizado o teste de Tukey.

Através do teste de Tukey, foi possível determinar que o único protocolo que apresenta uma diferença significativa é o protocolo > 12 anos. Apesar do Gráfico (Figura 4.7) apresentar um valor crescente esperado, as diferenças entre os protocolos de 0 a 1 ano, >1 a 5 anos e >5 a 12 anos não são significativas. Este resultado suporta a ideia de que alguns serviços trabalham sem a adequação de dose por faixa etária.

Tabela 4.6 Teste de Normalidade para $CTDI_{vol}$

	Idade Protocolo	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estatística	df	Sig.	Estatística	df	Sig.
$CTDI_{vol}$	0 a 1 ano	,184	17	,128	,907	17	,090
	>1 a 5 anos	,167	17	,200*	,935	17	,261
	>5 a 12 anos	,190	17	,103	,933	17	,243
	>12 anos	,126	17	,200*	,963	17	,689

*. Este é um limite inferior da significância verdadeira.

a. Correlação de Significância de Lilliefors

Tabela 4.7 ANOVA e teste de Tukey $CTDI_{vol}$, comparação dos protocolos.

ANOVA

$CTDI_{vol}$

	Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.
Entre Grupos	5405,389	3	1801,796	9,147	,000
Nos grupos	12606,889	64	196,983		
Total	18012,278	67			

Comparações múltiplas

Variável dependente: $CTDI_{vol}$

	(I) Idade Protocolo	(J) Idade Protocolo	Diferença média (I-J)	Erro Erro	Sig.	Intervalo de Confiança 95%	
						Limite inferior	Limite superior
Tukey HSD	0 a 1 ano	>1 a 5 anos	-4,30000	4,81398	,808	-16,9985	8,3985
		>5 a 12 anos	-9,07412	4,81398	,245	-21,7726	3,6244
		>12 anos	-23,66765	4,81398	,000	-36,3662	-10,9691
	>1 a 5 anos	0 a 1 ano	4,30000	4,81398	,808	-8,3985	16,9985
		>5 a 12 anos	-4,77412	4,81398	,755	-17,4726	7,9244
		>12 anos	-19,36765	4,81398	,001	-32,0662	-6,6691
	>5 a 12 anos	0 a 1 ano	9,07412	4,81398	,245	-3,6244	21,7726
		>1 a 5 anos	4,77412	4,81398	,755	-7,9244	17,4726
		>12 anos	-14,59353	4,81398	,018	-27,2920	-1,8950
	>12 anos	0 a 1 ano	23,66765	4,81398	,000	10,9691	36,3662
		>1 a 5 anos	19,36765	4,81398	,001	6,6691	32,0662
		>5 a 12 anos	14,59353	4,81398	,018	1,8950	27,2920

Figura 4.7 Gráfico média de $CTDI_{vol}$ em cada protocolo.

4.6. Cartas de Controle dos valores de $CTDI_{vol}$

Para cada protocolo, foi realizada a Carta de Controle com os resultados obtidos em cada equipamento de TC. Além do Limite Superior de Controle (LSC), foi utilizado como referência para um limite superior (U Spec) o valor do percentil 75 de cada protocolo, obtido nas análises estatísticas.

A Figura 4.8 apresenta a Carta de Controle para o protocolo de 0 a 1 ano. Nenhum equipamento de TC apresenta valores superiores ao LSC, contudo 5 equipamentos apresentam valores iguais ou superiores ao percentil 75.

A Carta de Controle para o protocolo >1 a 5 anos é apresentada na Figura 4.9. Tal como no protocolo anterior, nenhum equipamento de TC apresenta valores superiores ao LSC; no entanto, 5 equipamentos apresentam valores iguais ou superiores ao percentil 75, e o equipamento identificado como TC6, antes com valor abaixo da média, apresenta agora um valor acima daquele percentil 75.

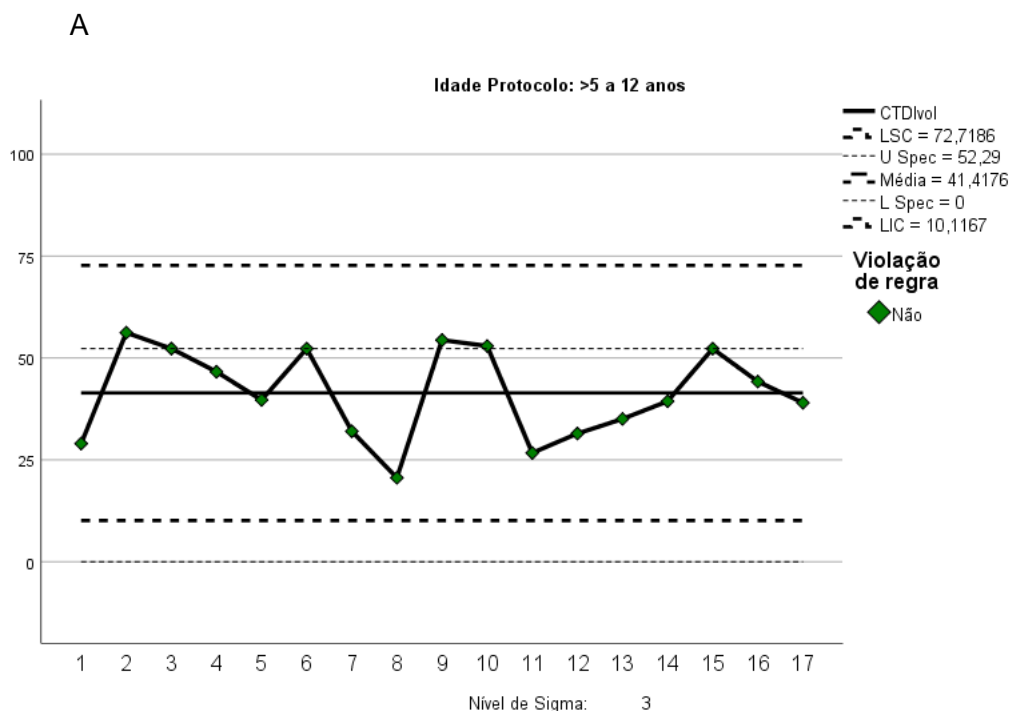


Figura 4.10 apresenta a Carta de Controle para o protocolo >5 a 12 anos. Nenhum equipamento de TC apresenta valores superiores ao LSC, todavia 6 equipamentos apresentam valores iguais ou superiores ao percentil 75; de destacar o equipamento TC9 que antes apresentava os menores valores encontrados mas que apresenta agora um valor de dose que o coloca no percentil 75.

Finalmente, a Figura 4.11 apresenta a Carta de Controle para o protocolo >12 anos. Nenhum equipamento TC apresenta valores superiores ao LSC; no entanto, os equipamentos TC3 e TC15 mantêm seus valores superiores ao percentil 75 e os equipamentos TC5, TC7 e TC8 passam a apresentar valores que os colocam dentro deste percentil.

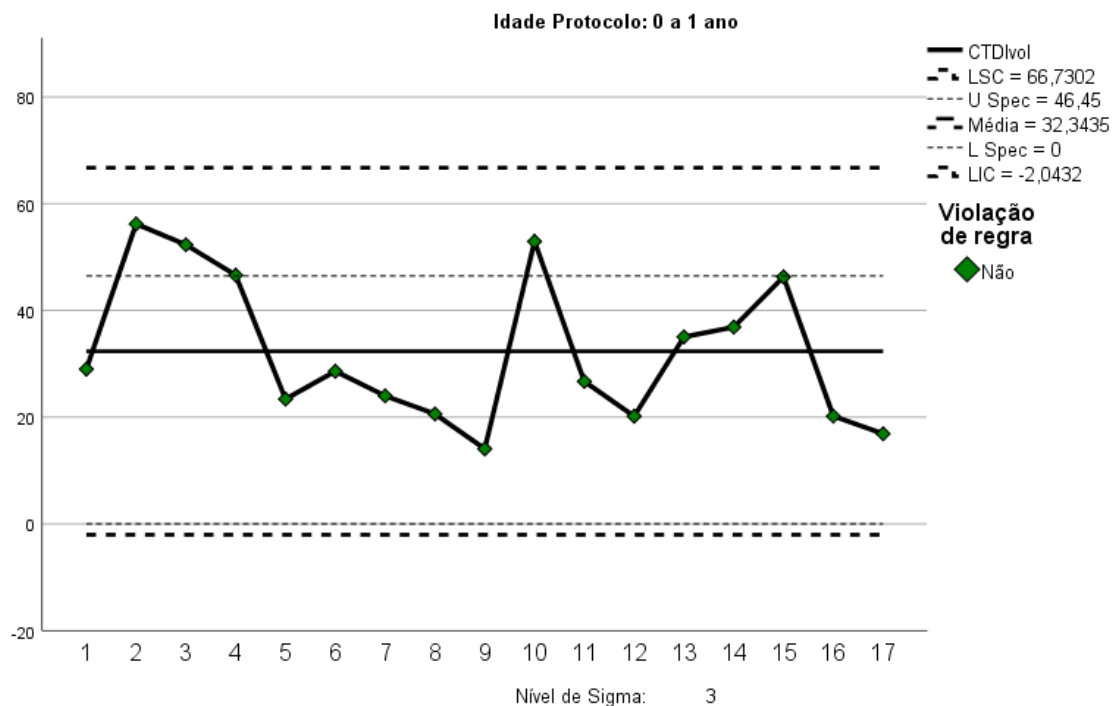


Figura 4.8 Carta de Controle CTDI_{vol} para o protocolo 0 a 1 ano.

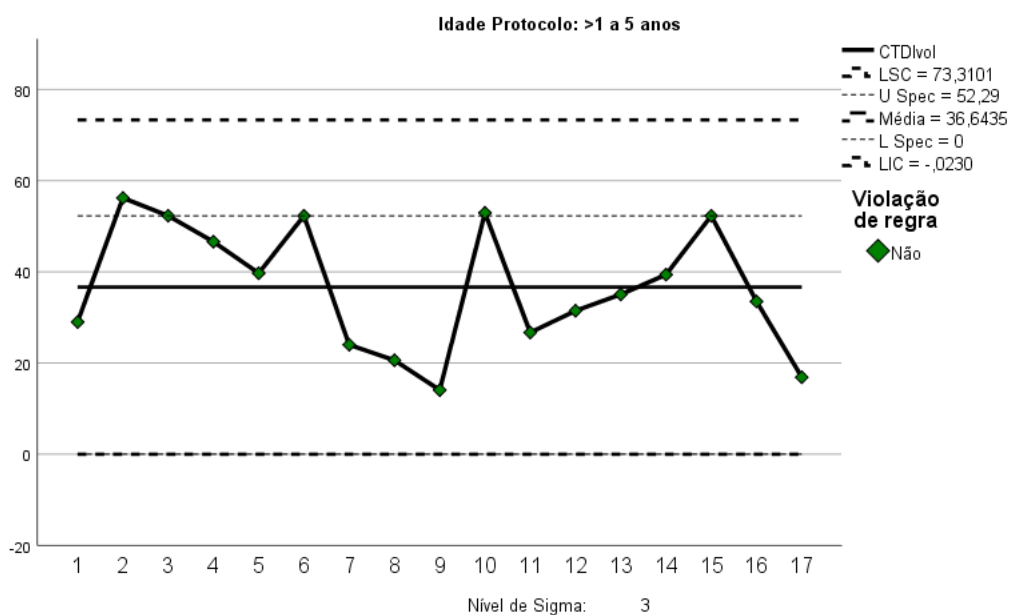


Figura 4.9 Carta de Controle CTDI_{vol} para o protocolo >1 a 5 anos.

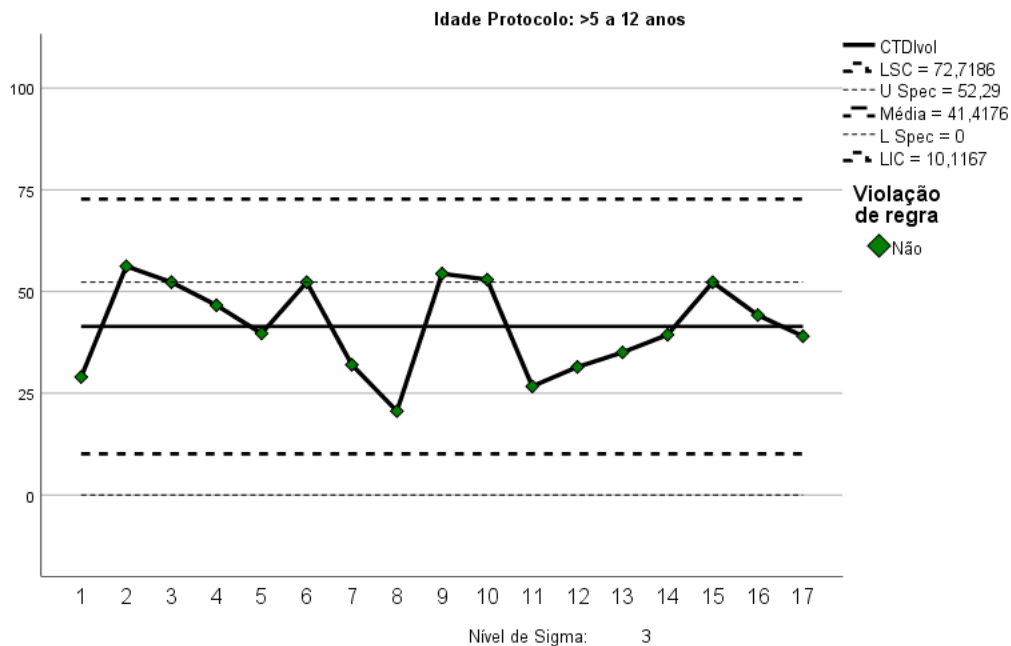


Figura 4.10 Carta de Controle CTDI_{vol} para o protocolo >5 a 12 anos.

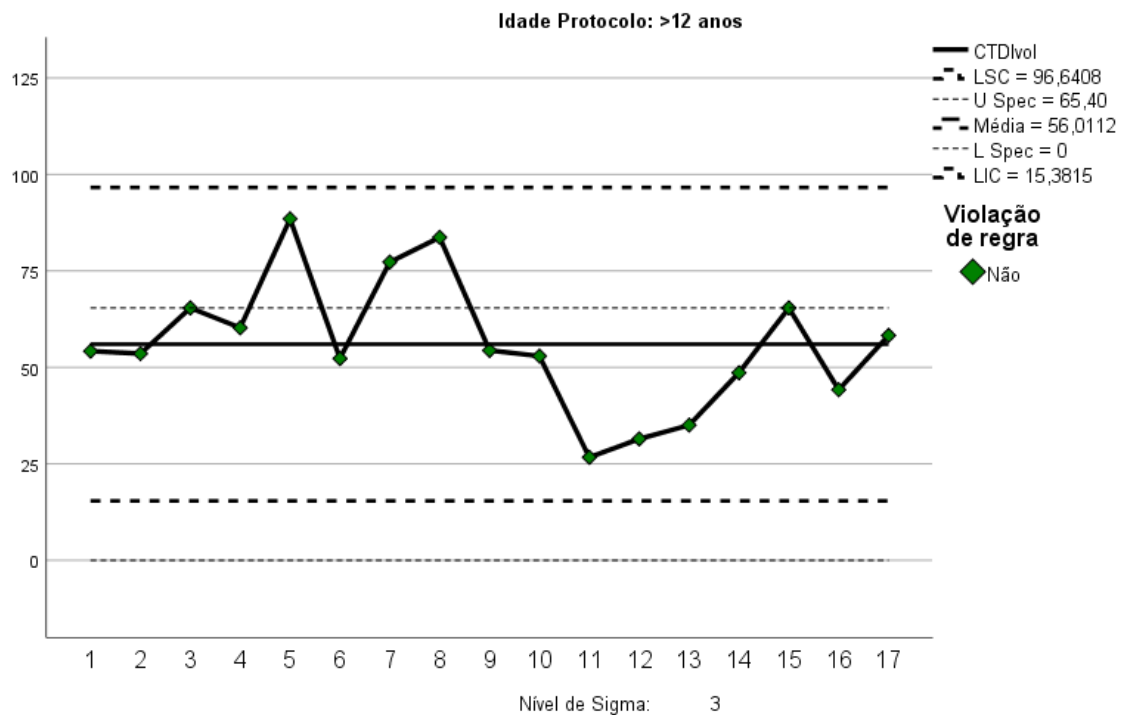


Figura 4.11 Carta de Controle CTDI_{vol} para o protocolo >12 anos.

4.7. Comparação por número de cortes

As Tabela 4.8, Tabela 4.9 e Tabela 4.10 apresentam os valores de $CTDI_{vol}$ por número de cortes dos equipamentos de TC, nomeadamente 16, 64 e 128 cortes, respectivamente.

No protocolo 0 a 1 ano, o menor valor médio encontrado foi de 22,09 mGy para os equipamentos de 64 cortes e o maior valor médio foi de 36,63 mGy para os equipamentos de 128 cortes. Os valores menor e maior de $CTDI_{vol}$ foram obtidos em equipamentos de 128 cortes, e correspondem a 14,06 mGy e 56,21 mGy, respectivamente.

No protocolo >1 a 5 anos, o menor valor médio registado foi de 27,73 mGy para os equipamentos de 64 cortes e o maior valor médio foi de 39,82 mGy para os equipamentos de 128 cortes. Tal como no protocolo anterior, os valores menor e maior de $CTDI_{vol}$ foram registados em equipamentos de 128 cortes, tendo-se obtido, respetivamente, 14,06 mGy e 56,21 mGy.

No protocolo >5 a 12 anos, o menor valor médio foi de 31,73 mGy, registado em equipamentos de 64 cortes, e o maior valor médio foi de 44,30 mGy, para os equipamentos de 128 cortes. Foi em equipamentos de 128 cortes que se registaram, igualmente, os valores máximo e mínimo de $CTDI_{vol}$, com respetivamente 20,60 mGy, e 56,21 mGy.

No protocolo >12 anos, o menor valor médio obtido foi de 53,20 mGy para os equipamentos de 16 cortes e o maior valor médio foi de 58,25 mGy para equipamentos de 128 cortes. Os valores menor e maior de $CTDI_{vol}$ foram obtidos para equipamentos de 16 cortes com, respetivamente, 26,69 mGy e 88,50 mGy.

A Figura 4.12 apresenta o gráfico da média dos valores de $CTDI_{vol}$ encontrados, por número de cortes da TC. Com exceção do protocolo >12 anos, os equipamentos de TC com 64 cortes apresentam um menor valor médio de $CTDI_{vol}$, enquanto os equipamentos de 128 cortes apresentam os maiores valores médios. Contudo ao observar Figura 4.13, que indica os valores mínimos encontrados, é sempre um equipamento de 128 cortes que apresenta o menor valor de $CTDI_{vol}$, com exceção do protocolo >12 anos; também para os maiores valores máximos, os equipamentos de 128 cortes têm preponderância (Figura 4.14).

Para concluir, os valores encontrados demonstram-se inconstantes e não apresentam uma tendência que permita relacionar os valores de $CTDI_{vol}$ com o número de corte do equipamento de TC.

Tabela 4.8 Valores de $CDTI_{vol}$ para os equipamentos com 16 cortes, para os diferentes grupos etários.

Idade / Protocolo	Média	Mediana	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	Intervalo
0 a 1 ano	29,49	25,04	13,38	16,88	52,93	36,05
>1 a 5 anos	34,85	36,44	12,35	16,88	52,93	36,05
>5 a 12 anos	40,32	39,54	8,52	26,69	52,93	26,24
>12 anos	53,20	50,77	20,38	26,69	88,50	61,81

Tabela 4.9 Valores de $CDTI_{vol}$ para os equipamentos com 64 cortes, para os diferentes grupos etários.

Idade / Protocolo	Média	Mediana	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	Intervalo
0 a 1 ano	22,09	22,09	2,71	20,17	24,00	3,83
>1 a 5 anos	27,73	27,73	5,28	24,00	31,46	7,46
>5 a 12 anos	31,73	31,73	0,38	31,46	32,00	0,54
>12 anos	54,38	54,38	32,41	31,46	77,29	45,83

Tabela 4.10 Valores de $CDTI_{vol}$ para os equipamentos com 128 cortes, para os diferentes grupos etários.

Idade / Protocolo	Média	Mediana	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	Intervalo
0 a 1 ano	36,52	35,04	14,63	14,06	56,21	42,15
>1 a 5 anos	39,82	46,61	15,63	14,06	56,21	42,15
>5 a 12 anos	44,30	52,29	12,86	20,60	56,21	35,61
>12 anos	58,25	54,39	13,14	35,04	83,70	48,66

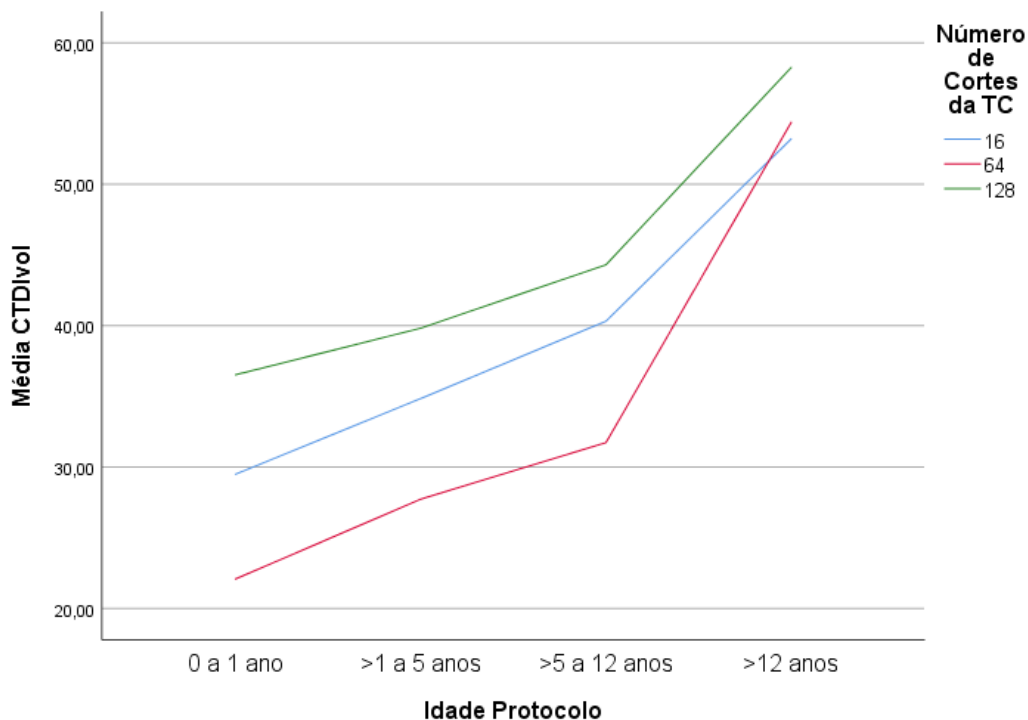


Figura 4.12 Gráfico Média CTDI_{vol} por número de cortes da TC.

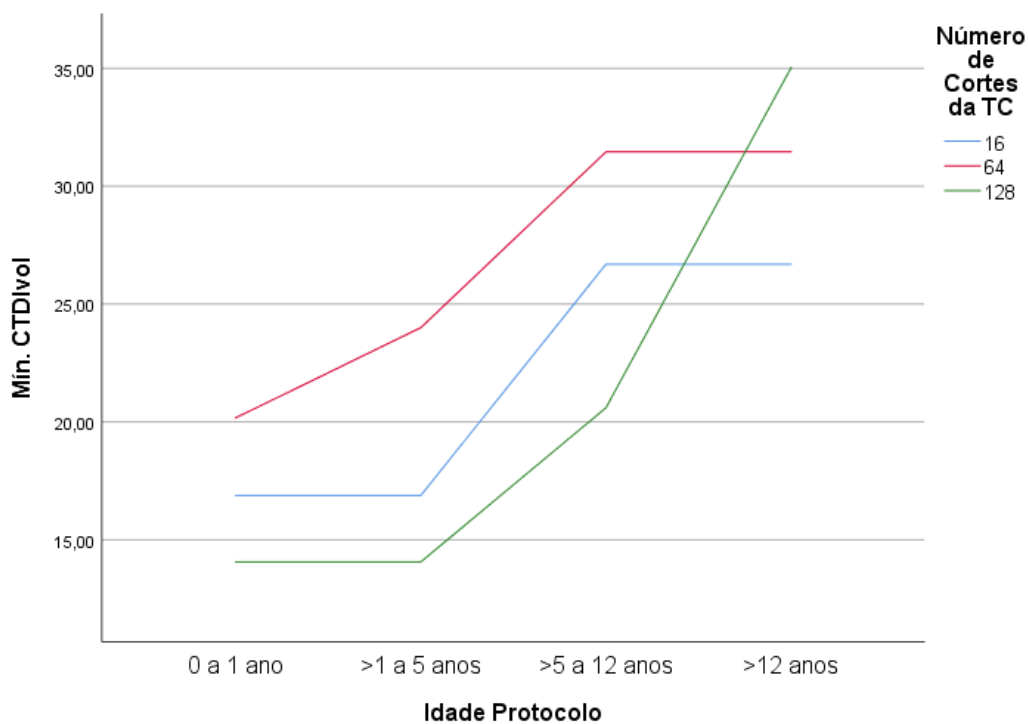


Figura 4.13 Gráfico valor mínimo CTDI_{vol} por número de cortes da TC.

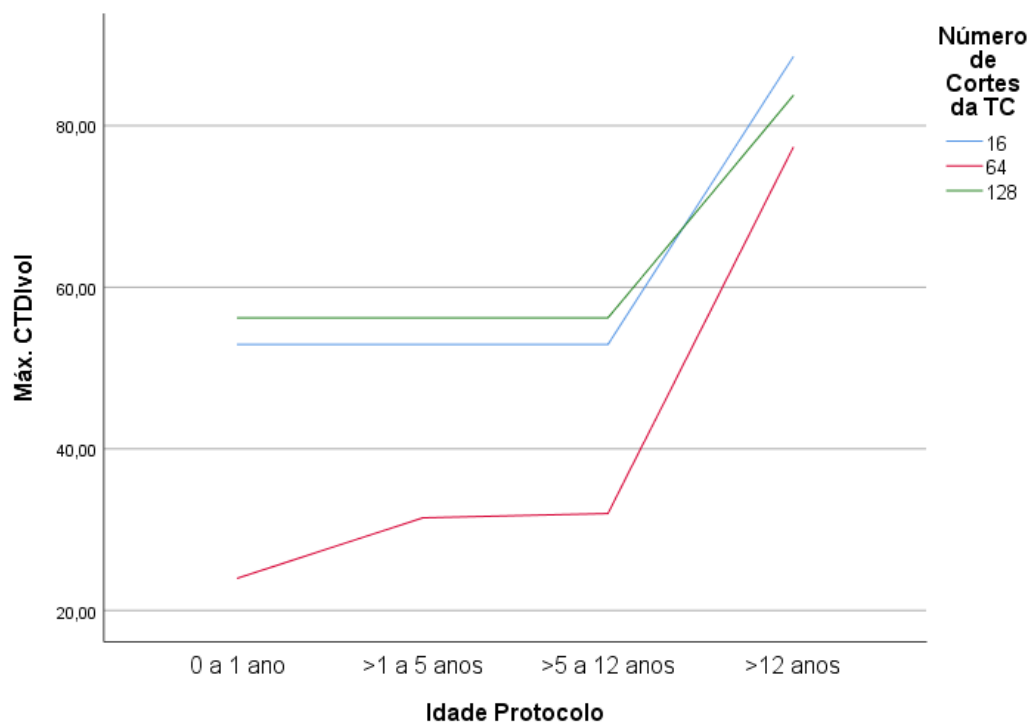


Figura 4.14 Gráfico valor máximo CTDI_{vol} por número de cortes da TC.

5. CONCLUSÕES

Observando os resultados obtidos com o presente estudo, pode-se concluir que a falta de valores de referência de doses para exames de TC nos serviços de radiologia participantes da coleta de dados resulta numa variação assinalável nos valores de $CTDI_{vol}$ e DLP. Todos os protocolos estudados apresentam, por isso, coeficientes de variação com grande dispersão média, não tendo uma média representativa.

Comparando os valores dos protocolos de 0 a 1 ano de idade com os outros protocolos, é possível observar serviços que utilizam doses equivalentes a protocolos para crianças com mais de 12 anos. O mesmo pode ser observado nos outros protocolos. Esta constatação sugere uma dose excessiva para muitos dos doentes pediátricos, sobretudo os mais novos.

Num dos serviços, o protocolo utilizado para 0 a 1 ano possui uma dose superior à dose utilizada para as crianças com mais de 12 anos, o que sugere a falta de adequação do protocolo e atenção da equipa técnica ao realizar exames pediátricos.

Por outro lado, a comparação dos valores médios em cada protocolo demonstra que existe um crescimento das doses com o grupo etário, embora ligeiro. A falta de uma diferença significativa entre eles sinaliza, todavia, a utilização indevida de protocolos sem ajuste de dose por faixa etária, o que fica bem espelhado pelo uso do mesmo protocolo para qualquer idade em algumas instituições.

Os resultados das Cartas de Controle não apresenta nenhum valor acima do LSC, pelo que a utilização de um limite correspondente ao percentil 75 poderia ser considerado como um valor de referência a ser considerado pelos serviços de radiologia. Tal possibilitaria uma adequação dos protocolos, procurando uma redução de dose sem perda da qualidade diagnóstica das imagens, uma vez que outros serviços trabalham com menores doses e não apresentam queixas quanto à qualidade das imagens adquiridas.

Ao acompanhar a aquisição dos dados, foi possível observar que as equipes técnicas utilizam protocolos de rotina pré-definidos e, usualmente, o único controle de dose é realizado pelos moduladores de doses dos equipamentos de acordo com cada fabricante. No entanto, foi observado que alguns serviços desativam esta função.

Em poucos serviços são realizados controle de dose de radiação nos exames, e em nenhum serviço foi mencionada a sinalização de doses excessivas, medidas corretivas, valores de referências internos ou externos.

A variação dos valores encontrados sugere que os valores não estão ligados diretamente ao número de cortes da TC e sim aos protocolos utilizados, uma vez que os valores máximos e mínimos $CTDI_{vol}$ não apresentam uma relação constante em com o número de cortes.

Os resultados obtidos e a comparação nos valores encontrados de $CTDI_{vol}$ e DLP demonstram a importância de se monitorizar as doses emitidas durante a realização dos exames de TC e a adequação de protocolos, assim como a utilização de valores de referências e fiscalização dos serviços de radiologia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Kim HG, Lee HJ, Lee SK, Kim HJ, Kim MJ. Head CT: Image quality improvement with ASIR-V using a reduced radiation dose protocol for children. *Eur Radiol. European Radiology*; 2017;27(9):3609–17.
2. Paolicchi F, Faggioni L, Bastiani L, Molinaro S, Puglioli M, Caramella D, et al. Optimizing the balance between radiation dose and image quality in pediatric head CT: Findings before and after intensive radiologic staff training. *Am J Roentgenol*. 2014;202(6):1309–15.
3. Miglioretti DL et al. Pediatric Computed Tomography and Associated Radiation Exposure and Estimated Cancer Risk. *Natl Inst Heal [Internet]*. 2013;167(8):1–15. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3936795/pdf/nihms-548644.pdf>
4. Vassileva J, Rehani M, Kostova-Lefterova D, Al-Naemi HM, Al Suwaidi JS, Arandjic D, et al. A study to establish international diagnostic reference levels for paediatric computed tomography. *Radiat Prot Dosimetry*. 2015;165(1–4):70–80.
5. H. J, R. S, M. K, A. L, E. H, P. S-H, et al. Indication-based national diagnostic reference levels for paediatric CT: a new approach with proposed values. *Radiat Prot Dosimetry [Internet]*. 2015;165(1–4):86–90. Available from: <http://www.embase.com/search/results?subaction=viewrecord&from=export&id=L611742919%5Cnhttp://dx.doi.org/10.1093/rpd/ncv044%5Cnhttp://sfx-eu03.hosted.exlibrisgroup.com/44brad/?sid=EMBASE&issn=17423406&id=doi:10.1093%2Frpd%2Fncv044&atitle=Indication-based+>
6. Nuclear CN de E. Princípio básicos de segurança e proteção radiológica. 2014; Available from: <http://www.cnen.gov.br/component/content/article/75-cin/material-didatico-cnen/170-principios-protacao-radiologica>
7. Santos J, Foley S, Paulo G, McEntee MF, Rainford L. The impact of pediatric-specific dose modulation curves on radiation dose and image quality in head computed tomography. *Pediatr Radiol*. 2015;45(12):1814–22.
8. Kostova-Lefterova D, Vassileva J. Survey of practice in paediatric computed tomography. Vol. 147, *Radiation protection dosimetry*. 2011. 156-159 p.

9. Sugimoto N, Aoyama T, Koyama S, Yamauchi-Kawaura C, Fujii K. Comparison of radiation doses between newborns and 6-y-old children undergoing head, chest and abdominal CT examinations-a phantom study. *Radiat Prot Dosimetry*. 2012;153.
10. Frush D, R Denham C, J Goske M, A Brink J, Morin R, T Mills T, et al. Radiation Protection and Dose Monitoring in Medical Imaging: A Journey From Awareness, Through Accountability, Ability and Action...But Where Will We Arrive? Vol. 9, *Journal of patient safety*. 2013. 232-238 p.
11. McKnight CD, Watcharotone K, Ibrahim M, Christodoulou E, Baer AH, Parmar HA. Adaptive statistical iterative reconstruction: Reducing dose while preserving image quality in the pediatric head CT examination. *Pediatr Radiol*. 2014;44(8):997–1003.
12. Portaria SVS/MS nº 453, de 1 de junho de 1998. 1998;19(2):1–21. Available from: http://www.conter.gov.br/uploads/legislativo/portaria_453.pdf
13. Journal B, Sciences R. OF Análise comparativa dos testes de controle de qualidade em tomografia computadorizada de acordo com as legislações nacional e internacional. 2015;1–20.
14. Pina DR De, Netto TG, Duarte E, Carbi O, Toledo R, Souza F De. Controlo de qualidade e dosimetria em equipamentos de tomografia computadorizada. *Mai*. 2009;42(3):171–7.
15. TÂNIA MARIA CARDIGOS SEQUEIRA. Níveis De Referência Em Diagnóstico Em Tomografia Computadorizada Para Planeamento Em Radioterapia. 2014;72. Available from: [https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/4232/1/Níveis de referência em diagnóstico em tomografia computadorizada para planeamento em radioterapia.pdf](https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/4232/1/Níveis%20de%20referência%20em%20diagnóstico%20em%20tomografia%20computadorizada%20para%20planeamento%20em%20radioterapia.pdf)
16. Carlos MT. Tomografia Computadorizada: Formação da imagem e radioproteção. 2002;21. Available from: <https://docplayer.com.br/5203971-Tomografia-computadorizada-formacao-da-imagem-e-radioprotecao-marcia-terezinha-carlos-lnmri-ird-cnen-introducao.html>
17. Coutinho AMM. Dose e Qualidade da Imagem em Tomografia Computadorizada [Internet]. 2018. p. 147. Available from: [file:///C:/Users/Utilizador/Downloads/Dissertação \(1\).pdf](file:///C:/Users/Utilizador/Downloads/Dissertação%20(1).pdf)

18. Rothenberg LN, Pentlow KS. AAPM tutorial: Radiation dose in CT. *RadioGraphics*. 1992;12:1225–43.
19. Santos M dos A. Otimização da imagem em Tomografia Computadorizada no exame de Tórax Otimização da imagem em Tomografia Computadorizada no exame de Tórax Maria dos Anjos Pombo Batista dos Santos. 2012;
20. Siemens A. Guide to Right Dose. Siemens Healthc. 2014;
21. Morgan DMA, AI. DUB et. CT dose index.
22. Goldman LW. Principles of CT: Radiation Dose and Image Quality. *J Nucl Med Technol*. 2007;35(4):213–25.
23. Adhesives B smart. Gesso [Internet]. 2018 [cited 2019 Jan 9]. p. 2018. Available from: https://www.bostik.com/globalassets/tdsdocuments/gesso_brasil_pt-br/technical-data-sheet/bostik-gesso-ficha-tecnica.pdf
24. Hazelaar C, Van Eijnatten M, Dahele M, Wolff J, Forouzanfar T, Slotman B, et al. Using 3D printing techniques to create an anthropomorphic thorax phantom for medical imaging purposes. *Med Phys*. 2018;45(1):92–100.
25. IBGE _ Brasil em Síntese _ Minas Gerais _ Panorama.[acesso em 08 de agosto de 19] Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/panorama>