

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 18/09/2018.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA
FILHO"**

INSTITUTO DE BIOCIÊNCIAS

NADINE HELENA PELEGRINO BASTOS MAUÉS

**Otimização de Protocolos de Abdômen-pelve em Tomografia Computadorizada
Multislice Utilizando Associações de Avaliações Subjetivas e Objetivas**

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Farmacologia e Biotecnologia.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Diana Rodrigues de Pina

Botucatu

2017

NADINE HELENA PELEGRINO BASTOS MAUÉS

**Otimização de Protocolos de Abdômen-pelve em Tomografia Computadorizada
Multislice Utilizando Associações de Avaliações Subjetivas e Objetivas**

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Farmacologia e Biotecnologia.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Diana Rodrigues de Pina

Botucatu

2017

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉC. AQUIS. TRATAMENTO DA INFORM.
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CÂMPUS DE BOTUCATU - UNESP
BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: ROSEMEIRE APARECIDA VICENTE-CRB 8/5651

Maués, Nadine Helena Pelegrino Bastos.

Otimização de protocolos de abdômen-pelve em tomografia computadorizada Multislice utilizando associações de avaliações subjetivas e objetivas / Nadine Helena Pelegrino Bastos Maués. - Botucatu, 2017

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Instituto de Biociências de Botucatu

Orientador: Diana Rodrigues de Pina

Capes: 20904002

1. Protocolos médicos. 2. Abdome - Tomografia. 3. Pelve - Tomografia. 4. Radiação - Dosagem.

Palavras-chave: Corrente modulada; Dose de radiação; Redução de dose; Tomografia computadorizada.

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Diana Rodrigues de Pina, pela oportunidade e confiança. Agradeço por toda ajuda e por ter acreditado em mim e neste trabalho. Registro aqui o meu muitíssimo obrigada. Sem seu apoio esta conquista não seria possível.

Ao Prof. Dr. José Ricardo de Arruda Miranda por todo o auxílio acadêmico. Agradeço por todas as considerações do exame de qualificação, que permitiram que este trabalho amadurecesse.

Ao Prof. Dr. Sergio Marrone Ribeiro, pela participação direta nas avaliações deste trabalho, todas sempre realizadas com excelência. Agradeço também por sua participação nas bancas do exame de qualificação e da defesa de dissertação e por todas as relevantes contribuições.

Ao Prof. Dr. Seizo Yamashita e ao Dr. André Petean Trindade pelas contribuições nos projetos do grupo LAFAR e pela implantação dos mesmos na esfera acadêmica desta instituição.

À Prof.^a Dr.^a Regina Moura pela sua participação na banca do exame de qualificação. Agradeço pelas suas observações, todas de grande importância para o fechamento deste trabalho.

À Dr.^a Maria de Fátima Magon por se disponibilizar para esta defesa de dissertação e contribuir com toda sua experiência na área. Agradeço pelo seu auxílio e de toda a equipe da Sapra Landauer.

À Dr.^a Yvone Maria Mascarenhas, da Sapara Landauer, por disponibilizar os dosímetros e suas respectivas leituras. Agradeço pelas suas contribuições durante todo o processo.

À Dr.^a Patrícia Nicolucci, pelas parcerias com o grupo LAFAR, por disponibilizar o fantoma antropomórfico e desta forma contribuir com a obtenção de dados desta pesquisa.

Aos amigos do Laboratório de Física Aplicada ao Radiodiagnóstico (LAFAR), por toda a ajuda e paciência: Allan, Ana Luiza, Ana Júlia, Fernando, Guilherme, Marcela, Maria Eugênia e Matheus.

Aos amigos do Laboratório Biomagnetismo (BIOMAG), pela convivência diária e discussões.

Ao Hospital das Clínicas de Botucatu (HCFMB) e à Faculdade de Medicina de Botucatu (FMB), por disponibilizar suas instalações e equipamentos.

Ao Programa de Pós-graduação em Farmacologia e Biotecnologia.

À CAPES pelo apoio Financeiro.

Ao meu companheiro e amigo Diego Petrocelli pela paciência e apoio em todos os momentos.

RESUMO

A tomografia computadorizada (TC) é amplamente utilizada no diagnóstico e estadiamento de patologias da região de abdômen-pelve devido a sua alta sensibilidade e especificidade. A possibilidade de adquirir maior número de imagens em menor tempo e a maior disponibilidade de equipamentos levaram a um aumento significativo dos exames de TC e consequente aumento das doses efetivas globais fornecidas por esta modalidade. Desta forma, foram desenvolvidas ferramentas que buscam reduzir as doses de radiação dos exames sem perda da qualidade da imagem. Uma destas ferramentas é a modulação automática da corrente do tubo (*automatic tube current modulation* – ATCM), que permite a obtenção de exames que concordam com o princípio ALARA (*as low as reasonably achievable*). O objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade da imagem e as doses de radiação de diferentes protocolos de TC de abdômen-pelve com a ferramenta ATCM. Foram avaliados cinco protocolos de TC de abdômen-pelve com a ferramenta ATCM em dois tomógrafos distintos, um 16-canaís e um 64 canais. Foi utilizado um fantoma antropomórfico para avaliações dosimétricas e um fantoma analítico para avaliações objetivas de qualidade da imagem. Para a análise subjetiva da qualidade da imagem, foram utilizados 15 exames retrospectivos de pacientes submetidos a TC de abdômen-pelve. Estes exames foram avaliados por um radiologista com experiência na área de tomografia de abdômen. As três análises forneceram informações que possibilitaram a escolha de um protocolo otimizado. Os maiores valores de dose absorvida foram encontrados em estômago e baço, 56,06 e 44,88 mGy, respectivamente. A tireoide e o esôfago obtiveram as menores doses absorvidas, 0,49 e 0,61, respectivamente. Foram encontradas diferenças significativas entre as doses efetivas dos protocolos, com uma redução de 39,40%. Nível de ruído, baixo contraste e resolução espacial não diferiram significativamente ($p>0.05$). Na análise subjetiva, os cinco protocolos receberam score “ótimo/aceitável”, mas sem diferença significativa entre os parâmetros analisados ($p>0.05$). Com esta metodologia foi possível obter reduções de 39,4% das doses de radiação. Nossos protocolos foram baseados em estudos científicos e nossa metodologia pode ser reproduzida em qualquer rotina clínica com objetivo de otimizar os exames de TC.

Palavras-chave: tomografia computadorizada, corrente modulada, dose de radiação, redução de dose.

ABSTRACT

Computed tomography (CT) is widely used at diagnoses and follow-up of pathologies on abdomen-pelvic region with high level of sensitivity and specificity. The possibility of acquiring more images in a shorter time and the wide availability of equipment led to a significant increase in CT scans and consequent increase in the overall effective doses provided by this modality. In this way, some equipment features have been developed, such as automatic tube current modulation (ATCM). ATCM permits acquiring quality images with low radiation doses, agreeing with the ALARA principle (*as low as reasonably achievable*). The aim of this study was to assess the image quality and radiation dose of different CT abdomen-pelvic protocols with ATCM technique. We performed five different CT abdomen-pelvic protocols with ATCM technique. A 16-slice and 64-slice scanners were used. We used an anthropomorphic phantom for dosimetric measurements and an analytical phantom for objective image quality assessments for each protocol. For a subjective image quality analyses, 15 retrospective patients examinations were collected and analyzed by a radiologist. The three analyses promote information to choose an optimize protocol. The highest absorbed doses were found in stomach and spleen, 56.06 and 44.88 mGy, respectively. The thyroid and esophagus received the lowest absorbed dose values, 0.49 and 0.61 mGy, respectively. We found significantly difference in effective dose for all protocols, with a dose reduction of 39.4%. Noise, low contrast and spatial resolution did not significant differ between protocols ($p>0.05$). On the subjective analysis, all protocols received score range “Optimum/Acceptable”, but with no significant difference on parameters analyses ($p>0.05$). The radiation dose reduction with this methodology achieved 39.4%. Our protocols were based on scientific studies and our methodology can be reproduced in any clinical routine in order to optimize CT protocols in futures studies.

Keywords: computed tomography, dose reduction, radiation dose, tube current modulation.

Esta pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Física Aplicada ao Radiodiagnóstico (LAFAR), devidamente aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Medicina de Botucatu (CEP) sob protocolo: CAAE 54284616.0.0000.5411.

Os exames retrospectivos de tomografia computadorizada utilizados neste estudo foram de pacientes do Hospital das Clínicas de Botucatu (HCFMB).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema demonstrando a nuvem de elétrons em um coletor e a emergência dos raios X.....	17
Figura 2 - Fantoma antropomórfico Alderson RANDO.....	20
Figura 3 - Fantoma analítico (imagem da esquerda) utilizado na extração dos parâmetros físicos de qualidade da imagem. (A) Módulo com padrões de barras, para análise de resolução espacial, escala de contraste, espessura de corte e alinhamento da luz de posicionamento; (B) Módulo com padrões de cilindros, para análise de baixo contraste e (C) Módulo homogêneo, análise de ruído e uniformidade	21
Figura 4 - TC de tórax com (A) janela de parênquima (WL:1500; WW: -600) e (B) janela de mediastino (WL:400; WW:40).....	24
Figura 5 - Modulação angular (xy). (a) Modulação da corrente do tubo é realizada em diferentes projeções nos planos x e y para cada da rotação do gantry. As setas finas indicam redução da corrente do tubo comparada as altas correntes (flechas grossas). (b) O operador seleciona a corrente do tubo efetiva, em miliamperagem, para realizar o scan com esta técnica.....	25
Figura 6 - Modulação longitudinal (z). (a) A atenuação é medida pelo topograma (esquerda) e convertida na espessura equivalente a água (direita), permitindo o operador escolher a qualidade da imagem pela seleção de diferentes níveis de ruído. (b) após o operador selecionar a corrente do tubo ou, mais apropriado, o nível de ruído pré determinado para o exame (esquerda), o software disponibiliza a modulação automática da corrente do tubo que será utilizada para alcançar o nível de ruído desejado.....	26
Figura 7 - Dimensões anteroposterior e lateral.....	29
Figura 8 - Fluxograma da metodologia	30
Figura 9 - Scout anteroposterior de fantoma antropomórfico AR (A) Abdômen superior, região desde a cúpula diafragmática até a crista ilíaca; (B) Abdômen total, desde a cúpula diafragmática até a sínfise púbica.....	31
Figura 10 - Doses absorvidas dos órgãos radiosensíveis para os cinco protocolos avaliados	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Correlação entre UH e aspecto da imagem das estruturas normais-----	18
Tabela 2 - Diferentes valores de wT segundo a ICRP 103-----	27
Tabela 3 - Parâmetros de aquisição para os protocolos de TC de abdômen-pelve avaliados -	30
Tabela 4 - Valores médios de dose para os protocolos de TC de abdômen-pelve avaliados--	38
Tabela 5 - Resultados da avaliação objetiva da qualidade da imagem -----	38
Tabela 6 - Resultados da avaliação subjetiva da qualidade da imagem -----	39

LISTA DE ABREVIATURAS

ALARA	As low as reasonably achievable
ATCM	Automatic tube current modulation
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
CTDI _{vol}	Volume Computed Tomography Dose Index
D _A	Dose Absorvida
D _E	Dose Equivalente
DLP	Dose Length Product
E	Dose Efetiva
ICRP	International Commission on Radiological Protection
kV	Quilovoltagem
mA	Miliamperagem
mGy	Miligray
mSv	MiliSievert
NI	Noise Index
ROI	Region of interest (Região de interesse)
SD	Standard deviation
SSDE	Size-specific Dose Estimate
TC	Tomografia Computadorizada
TLDs	Dosímetros Termoluminescentes
UH	Unidades Hounsfield

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	16
2.1. Objetivo geral	16
2.2. Objetivos específicos.....	16
3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	17
3.1. Princípios físicos da tomografia computadorizada	17
3.2. Fantomas	19
3.3. Exame tomográfico	21
3.4. Modulação automática da corrente do tubo	24
3.5. Como quantificar a exposição à radiação.....	27
4. METODOLOGIA	30
4.1. Protocolo de aquisição	30
4.2. Avaliação dosimétrica	32
4.3. Avaliação objetiva da qualidade de imagem.....	33
4.4. Avaliação subjetiva da qualidade de imagem	34
4.5. Análise estatística.....	36
5. RESULTADOS.....	37
6. DISCUSSÃO	40
7. CONCLUSÃO	43
8. REFERÊNCIAS	44

1. INTRODUÇÃO

A tomografia computadorizada (TC) foi inventada em 1963 pelo físico Allan M. Comack e pelo engenheiro Godfrey N. Hounsfield (1). Em 1972, Hounsfield criou o primeiro tomógrafo médico comercial com cortes de 13mm de espessura e destinado a exames de crânio (1). Esta tecnologia era capaz de adquirir 12 cortes em 35 minutos de aquisição (1). O invento da TC revolucionou os exames radiodiagnósticos por permitir uma visão transversal dos tecidos moles e demais estruturas anatômicas do corpo humano.

Nos últimos 44 anos a tomografia computadorizada evoluiu exponencialmente, com a introdução dos tomógrafos *multislice* se tornou possível adquirir imagens em menos de 1 minuto com pequenas espessuras (menos de 1mm de espessura). A evolução tecnológica da TC tornou-a um método de diagnóstico por imagem amplamente utilizado devido a sua rapidez e acessibilidade (2). A tomografia passou a ser o método de referência para diversas patologias, principalmente da região de abdômen-pelve (3).

O uso da TC no diagnóstico e estadiamento de patologias da região de abdômen-pelve tem grande importância devido a sua alta especificidade e sensibilidade (2,3). A TC possui alta sensibilidade no diagnóstico de cálculo renal, apendicite, metástase óssea e lesões intestinais e mesentéricas, com valores de 92%,100%, 71-100% e 82% respectivamente (2). Em 2008 e 2014, respectivamente, a *French-speaking Society of Medical Emergencies* e a *European Association of Urology* recomendaram o uso da tomografia computadorizada como o método diagnóstico de partida nos casos suspeitos de cólica renal (3). Nos casos de estadiamento para pacientes com câncer de ovário e no diagnóstico e estadiamento de lesões do pâncreas, a TC de abdômen-pelve é considerada a técnica diagnóstica *gold standard* (4,5).

A possibilidade de adquirir maior número de imagens em menor tempo e a maior disponibilidade de equipamentos levaram a um aumento significativo dos exames de TC. Em 1980 eram realizadas 3 milhões de tomografias, com um aumento para 62 milhões de exames em 2006 (5). Como consequência, houve aumento dos níveis de radiação ionizante recebidos pelos pacientes por esta modalidade, ocasionando um problema de saúde pública (5–7). Estima-se que em 1999 a contribuição da tomografia na dose efetiva recebida pelo público correspondia a aproximadamente 40% das exposições por exames de diagnóstico por imagem, em comparação a apenas 20% em 1990 (8).

Em 2000, a *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiations*, em relatório sobre a exposição médica a radiação, descreve que a TC representava, mundialmente, apenas 5% dos exames de diagnóstico por imagem mas contribuía com 34% do

total das doses efetivas recebidas pelo público (8). Em 2008 os exames de TC passaram a representar 15% de todos os exames de diagnóstico por imagem realizados (7,9). Estudos indicam que atualmente 70% das doses recebidas pela população, em exames diagnósticos, provêm dos exames de tomografia computadorizada (2,7,9,10). Além disso, 31% das doses anuais provenientes de procedimentos de imagens são derivados dos exames de tomografia de abdômen-pelve (5).

Esta situação gera preocupação devido aos altos níveis de radiação ionizante recebidos pelos pacientes, especialmente pediátricos, devido a conhecida associação entre a exposição à radiação ionizante e o risco de desenvolvimento de neoplasia (6,11,12). A *Food and Drug Administration (FDA)* e a *International Agency for Research on Cancer (IARC)* consideram os raios X utilizados na prática médica como agentes carcinogênicos para humanos (9). É estimado que a radiação proveniente da TC representa 1,5-2,0% de todos os cânceres dos Estados Unidos (US) e foi responsável por 29.000 casos de câncer em 2007 (9,13).

Desse modo, fica evidente a necessidade de implantação do princípio ALARA (*as low as reasonably achievable*), que busca a realização de exames com as menores doses de radiação possíveis sem comprometer a veracidade diagnóstica da imagem (3,14). O princípio ALARA busca balancear a qualidade do exame de diagnóstico de forma que permita um diagnóstico seguro, ao mesmo tempo que utiliza as doses mais baixas quanto razoavelmente exequíveis (3,14).

Com o avanço tecnológico dos tomógrafos, surgiram técnicas para otimização e redução de dose, como a técnica de modulação automática da corrente do tubo (*automatic tube current modulation – ATCM*). A ATCM permite a aquisição de imagens com baixas doses de radiação sem comprometer a qualidade da imagem (15,16). A ATCM ajusta automaticamente a corrente do tubo (mA) durante cada rotação do *gantry* de acordo com o tamanho do paciente e a atenuação da região (2,4). A corrente selecionada é a suficiente para atingir um nível específico de ruído pré determinado pelo operador (17). Estudos anteriores demonstraram que cerca de 60% das doses de radiação podem ser reduzidas com o uso da ATCM quando comparadas com a técnica da corrente fixa do tubo (2,3,18,19).

O sistema ATCM requer que o operador escolha o range de mA e o nível de ruído para cada exame de TC. Entretanto sem a determinação de protocolos otimizados o uso errôneo da técnica pode gerar doses que questionam o princípio ALARA ou gerar imagens de baixa qualidade que comprometem ou impossibilitam um diagnóstico médico seguro. Se torna necessário avaliar diferentes protocolos ATCM afim de selecionar as técnicas mais otimizadas.

Diversos estudos avaliam esta ferramenta de redução de dose de radiação nos exames de tomografia. A literatura aborda o uso de ATCM em fantasmas e a avaliação dos protocolos utilizados em instituições por exames retrospectivos ou prospectivos.

Fuji *et al.* (2009), utiliza uma metodologia a partir de fantasmas antropomórficos adulto e pediátrico com dosímetros fotodiodos na região dos órgãos radiosensíveis. Com a reprodução de exames de tórax e de abdômen-pelve, o trabalho compara as doses de radiação - através do $CTDI_{vol}$ (*Volume Computed Tomography Dose Index*), DLP (*Dose Length Product*) e dose efetiva de acordo com a *International Commission on Radiological Protection* ICRP 103 (11) e ICRP 60 (20) - para diferentes tomógrafos multislice com técnica da corrente modulada do tubo (21).

Lee *et al.* (2011), fizeram um estudo retrospectivo de 100 exames consecutivos de abdômen-pelve de tomografia computadorizada de adultos. Os pacientes utilizam ambas as técnicas de corrente modulada do tubo e de corrente fixa. Estes exames são avaliados através do $CTDI_{vol}$ e DLP, da análise subjetiva e quantitativa da imagem. O estudo descreve como limitação do mesmo a falta do cálculo da dose efetiva associada aos protocolos estudados (15).

Papadakis *et al.* (2014), apresentam uma metodologia para avaliar diferentes faixas etárias e diferentes espessuras abdominais. Este estudo utiliza fantasmas antropomórficos que simulam pacientes recém-nascidos, 1 ano, 5 anos, 10 anos e adulto (Fantoma Alderson RANDO). Os fantasmas de 10 anos e adulto ganham diferentes camadas de material *bolus* para representar diversas espessuras abdominais. Avaliam a qualidade da imagem pela análise quantitativa, distribuindo regiões de interesse (ROIs) em locais específicos da imagem utilizando a ferramenta ImageJ (18). Aqui foram utilizados exames de rotina de cabeça, pescoço, tórax e abdômen-pelve com três diferentes técnicas ATCM (*fraca, média e forte*) para região menos espessa e outras três para a região abdominal mais espessas, no qual concluiu-se que as doses podem aumentar muito com a variação da espessura anatômica. Papadakis *et al.* conclui que adultos e adultos sobrepeso podem se beneficiar da redução das doses em exames tomográficos pela técnica ATCM (18).

Sabarudin *et al.* (2015), avaliaram doses absorvidas com dosímetros termoluminescentes (TLDs) na posição dos órgãos radiosensíveis (tireoide, coração, esôfago, pulmão, fígado, estômago, rim, cólon, gônadas, bexiga, medula óssea e pele) em um fantoma antropomórfico Alderson RANDO adulto. O estudo compara os resultados do protocolo padrão de corrente fixa com protocolos de ATCM para exames de tórax e de abdômen-pelve. Além da dose absorvida, calcula-se a dose efetiva com base na ICRP 103 (11) e SSDE (*Size-specific*

Dose Estimate) no processo de avaliação da redução de dose destes exames (2). Foi encontrada uma redução de dose significativa para o protocolo ATCM quando comparado a técnica da corrente fixa. É descrito como limitação do estudo, a falta da realização de avaliações de qualidade da imagem como forma de validar as reduções encontradas no estudo (2).

A metodologia de Kanematsu *et al.* (2015) baseia-se na coleta prospectiva de dados de 128 pacientes consecutivos de tomografia computadorizada de corpo inteiro. Aqui foram testados três protocolos de corrente modulada do tubo, que se diferem apenas pela miliamperagem (mA) máxima possível. Para análise dos resultados, o estudo utiliza análise quantitativa e subjetiva das imagens, além da análise de dose pelo $CTDI_{vol}$, DLP e dose efetiva estimada (16). Como limitação, Kanematsu *et al.* descreve a não obtenção das doses efetiva e absorvida reais, por não estarem disponíveis em estudos clínicos (16).

Santos *et al.* (2015), propõe a avaliação de doses pré e pós a aplicação de *upgrades* nos protocolos da instituição. A partir de fantasmas antropomórficos de recém-nascido, 5 anos, 10 anos e adulto foram avaliadas a qualidade da imagem e comparadas as doses de radiação. Em uma segunda etapa, estes protocolos são aplicados à rotina da instituição, e uma avaliação pré e pós a aplicação dos protocolos é realizada. A qualidade destas imagens é avaliada quantitativamente a partir de ROIs e subjetivamente utilizando o método de avaliação gradativa visual (AGV) por radiologistas experientes. A mudança nos protocolos pré e pós ocorre por alteração de parâmetros como corrente do tubo, voltagem do tubo e a introdução da técnica de modulação automática da corrente do tubo (ATCM) (22).

Entretanto, a análise pela literatura se limita a uma ou duas metodologias por estudo, sem a integração de todas as informações necessárias para se otimizar técnicas tomográficas. É necessária uma otimização com base em parâmetros dosimétricos, que fornecem a dose efetiva e as doses absorvidas para cada órgão e tecido envolvido no exame. O estudo de parâmetros físicos de qualidade da imagem deve ir além de apenas análises de níveis de ruído, visto que o baixo contraste e a resolução espacial possuem papel fundamental nos exames de abdômen-pelve. A análise subjetiva consolida as avaliações por demonstrar, pela avaliação de um radiologista, que os parâmetros selecionados permitem um diagnóstico médico seguro e preciso.

7. CONCLUSÃO

O presente estudo avaliou cinco protocolos diferentes de tomografia computadorizada de abdômen-pelve com a técnica da modulação automática da corrente do tubo, em dois equipamentos distintos. As diferenças nos protocolos ATCM permitem reduções expressivas nas doses de radiação recebidas pelos pacientes. Com a presente metodologia é possível alcançar reduções de 39,40%. Esta metodologia pode ser aplicada em diversas rotinas clínicas e em equipamentos de diferentes fabricantes, com o objetivo de buscar maiores otimizações nos protocolos de TC em estudos futuros. Adicionalmente, esta metodologia fornece as informações necessárias e essenciais para determinar de forma segura um protocolo otimizado. As duas metodologias de avaliação da qualidade da imagem se corroboram e validam a redução de dose encontrada na análise dosimétrica.

1. A avaliação de protocolos ATCM comumente utilizados na rotina clínica do HCFMB permite estabelecer o padrão da instituição e orientar o uso de uma técnica otimizada;
2. Com o uso do fantoma antropomórfico e dos TLDs foi possível obter as doses absorvidas dos tecidos e órgãos em cada protocolo, e desta forma observar que a região de abdômen superior (baço e estômago) foi mais exposta durante este exame;
3. O uso de TLDs também permitiu o cálculo da dose efetiva (baseado na ICRP 103), fornecendo um valor global da dose para cada protocolo;
4. A aquisição de imagens no fantoma analítico com protocolos ATCM proporcionou a determinação de parâmetros objetivos de qualidade da imagem (fantoma analítico) avaliando a interferência da variação de parâmetros de aquisição no ruído, na resolução espacial e no baixo contraste da imagem;
5. A avaliação subjetiva de qualidade da foi condizente e complementou as avaliações objetivas fornecendo subsídios para apreciar protocolos como otimizados;
6. Para o equipamento de 16-canal, os parâmetros de aquisição do protocolo 5 mostraram-se os mais otimizados, alcançando uma redução de dose de 23,27%. O protocolo 2 é estabelecido como o mais otimizado para o equipamento de 64-canal, possibilitando uma redução de 14% da dose de radiação.

8. REFERÊNCIAS

1. Reiser MF, Becker CR, Nikolaou K, Glazer G. Multislice: Tomografia Computadorizada. 3ª edição. Revinter, organizador. 2011. 640 p.
2. Sabarudin A, Mustafa Z, Nassir KM, Hamid HA, Sun Z. Radiation dose reduction in thoracic and abdomen-pelvic CT using tube current modulation: a phantom study. *J Appl Clin Med Phys*. 2014;16(1):5135.
3. Gervaise A, Gervaise-Henry C, Pernin M, Naulet P, Junca-Laplace C, Lapierre-Combes M. How to perform low-dose computed tomography for renal colic in clinical practice. *Diagn Interv Imaging*. 2016;97(4):393–400.
4. Rizzo S, Origgi D, Brambilla S, De Maria F, Foà R, Raimondi S, et al. Radiation Exposure of Ovarian Cancer Patients. *Medicine (Baltimore)*. 2015;94(17):e765.
5. Bressan AK, Ouellet J-F, Tanyingoh D, Dixon E, Kaplan GG, Grondin SC, et al. Temporal trends in the use of diagnostic imaging for inpatients with pancreatic conditions: How much ionizing radiation are we using? *Can J Surg*. 2016;59(3):188–96.
6. Brenner DJ, Hall EJ. Computed tomography--an increasing source of radiation exposure. *N Engl J Med*. 2007;357(22):2277–84.
7. Smith AB, Dillon WP, Lau BC, Gould R, Verdun FR, Lopez EB, et al. Radiation dose reduction strategy for CT protocols: successful implementation in neuroradiology section. *Radiology* [Internet]. maio de 2008;247(2):499–506. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18372456>
8. Kalra MK, Maher MM, Toth TL, Hamberg LM, Blake MA, Shepard J, et al. Strategies for CT Radiation Dose Optimization. *Radiology*. 2004;230:619–28.
9. Ney MSCJ, Dos Santos AASMD, Fonseca GiVDS, Lodi CS. Effective Doses Radiation to the Patients in Examinations Performed in Three CT Scanners in Brazil? *Radiat Prot Dosimetry*. 5 de abril de 2017;1–6.
10. Lee CI, Haims AH, Monico EP, Brink JA, Forman HP. Diagnostic CT scans: assessment of patient, physician, and radiologist awareness of radiation dose and possible risks. *Radiology*. 2004;231(2):393–8.

11. ICRP. ICRP 103: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Ann ICRP*. 2007;37:330.
12. Pearce MS, Salotti JA, Little MP, McHugh K, Lee C, Kim KP, et al. Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: A retrospective cohort study. *Lancet*. 2012;380(9840):499–505.
13. Hall EJ, Brenner DJ. Cancer risks from diagnostic radiology. *Br J Radiol*. maio de 2008;81(965):362–78.
14. Prasad KN, Cole WC, Haase GM. Radiation protection in humans: Extending the concept of as low as reasonably achievable (ALARA) from dose to biological damage. *Br J Radiol*. 2004;77(914):97–9.
15. Lee S, Yoon S-W, Yoo S-M, Ji YG, Kim KA, Kim SH, et al. Comparison of image quality and radiation dose between combined automatic tube current modulation and fixed tube current technique in CT of abdomen and pelvis. *Acta radiol*. 2011;52(10):1101–6.
16. Kanematsu M, Kondo H, Miyoshi T, Goshima S, Noda Y, Tanahashi Y, et al. Whole-body CT with high heat-capacity X-ray tube and automated tube current modulation - Effect of tube current limitation on contrast enhancement, image quality and radiation dose. 2015;1–7.
17. Sookpeng S, Martin CJ, Gentle DJ. Influence of CT automatic tube current modulation on uncertainty in effective dose. *Radiat Prot Dosimetry*. 2016;168(1):46–54.
18. Papadakis AE, Perisinakis K, Damilakis J. Automatic exposure control in CT: the effect of patient size, anatomical region and prescribed modulation strength on tube current and image quality. *Eur Radiol*. 2014;25:20–31.
19. Miller DL, Vano E, Bartal G, Balter S, Dixon R, Padovani R, et al. Occupational radiation protection in interventional radiology: A joint guideline of the cardiovascular and interventional radiology society of Europe and the society of interventional radiology. *J Vasc Interv Radiol*. 2010;21(5):607–15.
20. ICRP. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. *Ann ICRP*. 1991;(21):1–3.

21. Fujii K, Aoyama T, Yamauchi-Kawaura C, Koyama S, Yamauchi M, Ko S, et al. Radiation dose evaluation in 64-slice CT examinations with adult and paediatric anthropomorphic phantoms. *Br J Radiol.* 2009;82(984):1010–8.
22. 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.
23. Santos ES, Nacif MS. *Manual de Técnicas em Tomografia Computadorizada.* 1ª Edição. Rubio, organizador. 2009. 280 p.
24. Jr NJ, Rose T. Online Radiography Continuing Education for Radiologic X ray Technologist. *CE Essentials.* 2014;1–25.
25. Kalra MK, Maher MM, Toth TL, Schmidt B, Westerman BL, Morgan HT, et al. Techniques and Applications of Automatic Tube Current Modulation for CT1. *Radiology.* 2004;233(3):649–57.
26. AAPM Report No. 204: Size-specific dose estimates (SSDE) in pediatric and adult body CT examinations. *Am Assoc Phys Med.* 2011;
27. Bacchim Neto FA, Alves AFF, Mascarenhas YM, Giacomini G, Maués NHPB, Nicolucci P, et al. Efficiency of personal dosimetry methods in vascular interventional radiology. *Phys Medica.* maio de 2017;37:58–67.
28. European Guidelines on Quality Criteria for Computed Tomography European Guidelines on Quality Criteria. Rep , EUR16262. 1998;
29. AAPM Report N.º 96 - The Measurement, Reporting, and Management of Radiation Dose in CT. American Association of Physicists in Medicine. 2008.