

# Otimização dos Protocolos de Tomografia Computadorizada em Pacientes Pediátricos

Andréa Cordeiro dos Santos<sup>1</sup>, Janaina Pereira Marcon<sup>1</sup>, Luciane dos Santos Mello<sup>2</sup>, Silvana Alves Maia<sup>2</sup> e Andrei Valério<sup>3</sup>

1. Acadêmicas do Curso de Tecnologia em Radiologia da Faculdade União das Américas. Técnicas em Radiodiagnósticos.

2. Acadêmicas do Curso de Tecnologia em Radiologia da Faculdade União das Américas.

3. Coordenador e Docente do Curso de Tecnologia em Radiologia da Faculdade União das Américas.

*janainapm29@hotmail.com e andrei@uniamerica.br*

## Palavras-chave

Dose de radiação

Pediatria

Protocolo de otimização

Tomografia computadorizada

## Resumo:

Neste estudo propomos fazer um protocolo de otimização para diminuição de doses recebidas nos exames de tomografia computadorizada de crânio em pacientes pediátricos, pois este tema tem se tornado preocupante devido às comprovações de altas doses de radiação recebidas durante o exame. Enfatizando o princípio de ALARA “tão baixa quanto razoavelmente exequível”, mantendo a qualidade da imagem. Sendo assim, realizamos esta pesquisa por meio de referências bibliográficas e artigos semelhantes já publicados. Percebemos que altas doses de radiação nos exames de Tomografia Computadorizada de crânio em crianças são desnecessárias em muitos casos podem ocasionar leucemias e outros tipos de câncer, principalmente em crianças; pois suas células estão em duplicação e são mais sensíveis. É possível diminuir essas doses usando diversas estratégias, tais como utilização dos NRDs, redução de KV e MaS, utilizar o controle de exposição automático junto com filtros de feixe e diminuir o Pitch, minimizando os riscos; garantindo então a saúde e bem-estar dos pacientes. Logo sugerimos um modelo de protocolo de otimização que pretendemos colocar em prática num futuro estudo.

Artigo recebido em: 10.08.2015.

Aprovado para publicação em: 23.10.2015.

## INTRODUÇÃO

É crescente o número de exames de imagem que utilizam radiação ionizante (raios X) na medicina, se pegarmos como exemplo a Tomografia Computadorizada (TC) nos Estados Unidos a estimativa para o ano de 2010 era de um milhão de exames. Além disso, existem pessoas que por serem portadoras de doenças crônicas; necessitam fazer acompanhamento e são submetidos a grandes números de exames radiológicos (IARED & SHIGUEOKA, 2010, p. 143).

Porém a TC é um exame que acarreta uma absorção maior de dose ao paciente submetido a este exame. O desafio é sempre promover um protocolo que garanta a qualidade em diagnóstico e que seja seguro com doses tão baixas quanto razoavelmente exequível (FINATTO et al., 2015, p. 01).

Este número tem se tornado grande em relação à pacientes pediátricos e também preocupante; para (DAROS, 2005, p. 19). Crianças expostas são mais susceptíveis a desenvolver leucemia, em relação aos adultos irradiados. Isto indica a necessidade de se estabelecer protocolos específicos para exames pediátricos, visando diminuir as doses recebidas.

Segundo Finatto et al. (2015, p. 02), a otimização deve ter atenção maior quando os pacientes forem crianças, pois elas são mais sensíveis à radiação, devido o processo de divisão nos diversos tecidos e órgãos em

desenvolvimento, e também pelo tempo maior de vida por causa da manifestação tardia dos efeitos da radiação ionizante.

A radiação pode trazer danos aos genes, cromossomos; matando as células principalmente aquelas que estão em duplicação, pois estas são muito sensíveis à radiação. A sobrevivência desta célula diminui com o aumento da dose. Segundo Goldaman & Schafer (2014) "... a rápida exposição 1 a 2 Sv reduz a população sobrevivente destas células em cerca 50%".

Como notamos, o número de exames de imagem para a prática médica está cada vez maior e isto pode ser um risco para as crianças, por terem suas células em duplicação, e um tempo maior de vida e por isso poder sofrer efeitos estocásticos.

Além disso, percebemos, que muitos tecnólogos de radiologia, não tem treinamento para otimização de doses e usam os protocolos de exames; que são indicados pelos fabricantes.

Então queremos propor um protocolo de otimização para diminuição de dose recebida em crianças, nos exames de tomografia de Crânio. Otimizando as doses, mantendo a qualidade e preconizando o Princípio Alara (As Low As Reasonably Achievable).

## NOÇÕES DE RADIOPROTEÇÃO

A Proteção Radiológica ocupa-se de dois tipos de efeitos nocivos: Doses elevadas, de natureza aguda podem dar origem aos efeitos determinísticos, que prejudica os tecidos e principalmente a morte celular, surgem quando os limites vão além da dose limites. Estes efeitos surgem em um curto espaço de tempo. E as doses baixas e altas podem causar o efeito intitulado estocásticos; determinados efeitos hereditários, somáticos e também podem causar câncer, sempre algum tempo após a exposição (SEQUEIRA, 2014, p.11).

Para Bonato & Enelcave (2011, p. 360), a radiação ionizante danifica os tecidos de diversas formas "... os efeitos direto dessa radiação no tecido são desencadeados pela deposição de energia nas macromoléculas, rompendo estruturas atômicas do tecido onde atua produzindo modificações químicas e biológicas."

Existem meios para que a proteção radiológica seja cobrada e executada, para United States Nuclear Regulatory Commission (U.S.NRC) ALARA é um acrônimo para "tão Baixo tanto razoavelmente possível" significa fazer todos os esforços para manter a radiação ionizante como muito abaixo dos limites de dose.

Temos também os requisitos básicos de proteção radiológica que são: Justificação nenhuma prática será aceita pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), a não ser que a prática produza benefícios. "As exposições médicas de pacientes devem ser justificadas, ponderando-se os benefícios diagnósticos ou terapêuticos que elas venham a produzir" (PORTARIA 453, p. 05).

Limitação de Dose Individual: a exposição dos indivíduos deve ser restringida de tal modo que nem a dose efetiva nem a dose equivalente nos órgãos ou tecidos, excedam o limite de dose especificado na NN-3.01 (PORTARIA 453, p. 07).

Otimização: a proteção radiológica deve ser otimizada de forma que a magnitude das doses mantenham-se tão baixas quanto possa ser razoavelmente exequível (PORTARIA 453, p.06), para EUROTOM a otimização deve incluir a seleção do equipamento, informações adequadas de diagnóstico bem como abranger os aspectos práticos dos procedimentos de exposição radiológica médica, a garantia de qualidade, e a avaliação das doses dos pacientes.

## TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA

A tomografia computadorizada iniciou na década de 70, tornando possível examinar várias partes do corpo com maior clareza, emitindo uma fonte de raios-X e detectores de radiação que transformam o feixe de luz em um sinal elétrico formando “fatias de imagens” podendo ser medidas em escalas (JUNIOR & YAMASHITA, 2001, p. 02).

A TC é um processo em que um conjunto de detectores e uma fonte de raios X rodam em torno de um objeto. O movimento do objeto em direção perpendicular aos detectores/fonte permite então obtenção de um conjunto de cortes que possibilita uma análise tridimensional do alvo (MEDEIROS, 2009, p. 41).

Os tomógrafos no término do exame mostram, os índices de dose denominados Computed Tomography Dose Index (CTDI vol) e Dose Length Product (DLP), sendo possível saber os níveis de exposição à radiação. CTDIvol e DLP são valores úteis como referência de doses nos pacientes. A dose absorvida pode ser estimada usando os valores de CTDIvol (KIKUTI, 2013, p. 03).

O CTDI vol é basicamente a dose média sobre um único corte e o DLP fornece controle de volume de irradiação e a dose total de um exame, este considera o número de cortes por rotação e a espessura dos cortes para as sequências utilizadas (MEDEIROS, 2009, p. 52-53).

É importante lembrar que as crianças têm maior risco de desenvolver neoplasias do que os adultos relacionados a radiação, pois seus tecidos e órgãos ainda estão em desenvolvimento e as células estão passando por divisões diversas (DALMAZO et al., 2010, p. 242).

Segundo Dalmazo et al. (2010, p. 242), Uma criança de um ano de vida tem 10 á 15 vezes maior risco de desenvolver uma neoplasia maligna do que um adulto de 50 anos de idade para a mesma dose de radiação.

Sendo assim, há uma preocupação muito grande com as doses de radiação usada em exames de TC em crianças (Dalmazo et al. 2010, p. 242).

A qualidade da imagem em TC é proporcional as doses, quanto maior a dose, melhor a imagem, os aparelhos estão menores, porém os tubos produzem altos níveis de radiação para os diferentes estudos de TC (Haaga & Nakamoto 2005, p. 953).

De acordo com Lin (2010, p. 1145) a dose de radiação em tomógrafos multislides é quatro vezes maior do que em tomógrafos monofásicos. Haaga e Nakamoto (2005, p. 953) também relatam que os exames multifásicos aumentam consideravelmente a dose no paciente.

## PROBLEMATIZAÇÃO

Segundo Lacerda et al. (2007, p. 409) e Bonato & Elnecave (2011, p. 360), crianças são mais sensíveis às lesões causadas pela radiação, embora um único procedimento possa haver dosagem baixas o paciente pediátrico realizando vários exames, resulta em doses acumulativas de radiação, uma vez que esses pacientes apresentam maior replicação celular, células com alta radiosensibilidade e uma maior expectativa de vida, este último aumenta a ocorrência de efeitos estocásticos.

A UNSCEAR em 2008 realizou um estudo, que relata; 43% da dose de radiação coletiva total mundial provém da TC.

A TC entrega doses de radiação muito maiores que os raios x diagnósticos convencionais, no caso da tomografia de tórax que produz doses 100 vezes mais que um exame de raios x de tórax postero-anterior mais perfil (SAVI, 2014, p. 25).

Na National Academy of Sciences em seu sétimo estudo realizado sobre os efeitos biológicos das radiações ionizantes determinou que uma dose única de radiação de 10 mSv durante a vida pode desenvolver um câncer sólido ou leucemia na proporção de 1 em 1.000 pessoas (SAVI, 2014, p. 27).

Recentemente no Reino Unido, um estudo com 180.000 jovens expostos a tomografia computadorizada encontraram um risco crescente de câncer de leucemia e cérebro com o aumento da dose de radiação (MATHEWS et al., 2013).

Entre 680.000 australianos expostos a uma tomografia computadorizada, quando envelheceu 0-19 anos, a incidência de câncer foi aumentada em 24% (95% de intervalo de confiança de 20% para 29%) em comparação com a incidência em mais de 10 milhões de pessoas não expostas. O aumento proporcional no risco foi evidente em intervalos curtos após a exposição e foi maior para as pessoas expostas em idades mais jovens (MATHEWS et al., 2013).

De acordo com Haaga & Nakamoto (2005, p. 953), “O que falta é um bom controle de doses de radiação em TC”.

Para Lin (2010, p. 1145), na maioria dos casos, os benefícios da imagem de TC supera o risco de câncer; no entanto, para certos subconjuntos de pacientes, o risco de radiação deve ser de maior interesse para o clínico; e este pode desempenhar um papel na minimização do risco de radiação para com o seu paciente, referindo os seus pacientes para os centros que tenham o comprometimento em minimizar a dose de radiação.

## **PARÂMETROS PARA REDUÇÃO DE DOSES**

Os Níveis de Referências de Doses (NRD) são uma forma de parâmetro para que profissionais da saúde possam estabelecer um conjunto de práticas com orientações otimizadas para exames padrão; não devendo ser ultrapassados sem justificação (MEDEIROS 2009, p. 56-57; SILVA, 2010, p. 21).

Definição: “Níveis de dose na prática médica de radiodiagnóstico para exames típicos em grupos de pacientes de tamanho médio ou em modelos-padrão para tipos de equipamento de definição alargada. Estes níveis não devem ser ultrapassados nos procedimentos habituais quando são aplicadas as boas práticas correntes relativas ao diagnóstico e à qualidade técnica” (EURATOM).

De acordo com estes níveis apresentamos duas tabelas com os valores de doses. Tabela 1 com NRD Europeus (MEDEIROS, 2009, p. 57). Na tabela 2 são expostos os níveis de referências retirados da American Association of Physicists in medicine (AAPM REPORT NO. 96, 2008, p. 19).

Além dos NRD, temos outras maneiras para redução de dose no paciente como, uso de filtros de feixe que reduzem a intensidade do feixe de Raios x (YU et al., 2011, p. 836; YU et al., 2009, p. 05).

Diminuir Kilovoltagem (Kv), esta é a ferramenta mais poderosa para a diminuição de dose, porque está ligada com a dose de uma forma não linear (JOHN & JON, 2012, p. 809).

Usar o controle automático de exposição CAE, os equipamentos mais modernos têm esta capacidade de ajustar a corrente do tubo mA automaticamente; que é concluído com referência no tamanho e forma de cada indivíduo. É importante manter o intervalo de varrimento tão pequeno quanto possível e tão grande quanto necessário, a fim de evitar a exposição à radiação direta de quaisquer regiões do corpo que não são necessárias para o diagnóstico incluindo apenas a área a ser estudada (JOHN & JON, 2012, p. 809-810; YU et al., 2009, p. 05-06).

**Tabela 1**

EXAME	CTDI v (mGy)	DLP (mGy cm)
Cabeça	60	1050
Face e Paranasais	35	360
Tórax	30	650
Abdômen	35	780
Fígado/Baço	35	900
Pelve	35	570

Fonte: NRD Europeus de TC (MEDEIROS, 2009, p. 57).

**Tabela 2**

Região Anatômica	Idade	mA	CTDI vol (mGy)
Crânio	0-6 m	120	9.5
	6-18 m	150	11.9
	18m-3a	160	12.7
	3-10 a	190	15.1
	+10 a	170	25.5

Fonte: AAPM Report N. 96 (2008, p. 19).

O Pitch é o tamanho do passo, quanto menor e mais rápido for o passo; mais baixa a dose (JOHN & JON, 2012, p. 810).

Outras opções que também devem ser utilizadas para John & Jon (2012, p.810-811); é diminuir o número de fases, sempre que possível, trabalhar com reconstrução interativa, ter um programa de redução de doses dentro do setor.

De acordo com Hyun (2012, p. 02-03), deve-se compreender todos os tópicos acima mencionados, como potencial do tubo Kv, mA, pitch, CAE, CTDIv, DLP, a definição de cada um desses parâmetros e os seus efeitos sobre a radiação, nos são importantes para definir a forma de como otimizar e manter a qualidade de um protocolo.

“... Antes de realizar um exame de tomografia computadorizada pediátrica, é essencial avaliar totalmente os riscos e benefícios do exame solicitado...” A TC é justificada? Se for deve-se realizar o exame com todo esforço para otimizar o protocolo utilizando uma dose mínima de radiação para obter a informação de diagnóstico necessária (YU et al., 2011, p. 836).

Pode-se reduzir a dose de radiação de 3 maneiras: Primeiro optar por não realizar o estudo baseando-se na indicação e avaliação dos exames anteriores que podem responder a questão clínica. Em segundo propor

uma alternativa de exame que não utilize radiação ionizante, em terceiro diminuir a radiação otimizando protocolos (LIN, 2010, p. 1.144).

## **METODOLOGIA**

Realizamos esta pesquisa a partir de uma revisão bibliográfica identificando estudos similares já publicados. E também aplicamos a pesquisa transversal, neste tipo de pesquisa os dados são coletados em uma única ocasião, sem segmento (BALDAÇARA, 2013, p. 45).

A coleta de dados foi realizada no Hospital Padre Germano Lauck de Foz do Iguaçu, PR, localizado na rua: Adoniram Barbosa, 370; Parque Monjolo.

Nesta coleta efetuamos um exame de Tc de crânio representativo com Phantom polimetil-metacrilato (PMMA) de 16 cm. “Chamamos de phantom o modelo físico e matemático do corpo humano”. Ele tem se tornado uma ferramenta importante e básica para os estudos de imagens médicas e dosimetria. “Devido à peculiar capacidade de simular tecidos e órgãos do corpo humano já que não é viável fazer a medição direta de doses de radiação utilizando detectores físicos no interior do corpo humano” (XU, 2010 apud THOMPSON, 2013, p. 18).

O phantom mimetiza o corpo humano, inclui características anatômicas e biométricas exteriores e interiores do corpo humano, englobando detalhes sobre os órgãos tais como volume, massa e forma, juntamente com informações sobre as densidades e composições químicas dos tecidos (THOMPSON, 2013, p. 18).

Este Phantom representa um crânio, uma maneira de chegarmos a um protocolo hábil, sem utilizarmos pacientes.

O respectivo exame foi realizado em um Tomógrafo GE BrightSpeed 16 canais, estes tomógrafos ao final de cada exame através do programa de arquivo chamado DICOM dispões de informações distintas uma com a imagem propriamente dita e outra com informações escritas sobre o exame, descreve marca, modelo e número de canais do tomógrafo, dados sobre o paciente e o protocolo utilizado, e por fim, registros dosimétricos, como CTDIvol e DLP. Então a partir destas informações e que conseguimos concluir um protocolo que obedeça aos padrões dos NRDs e dos parâmetros para redução de dose, estes descritos acima.

## **RESULTADOS**

Partindo do princípio da nossa proposta; criar um protocolo otimizado para TC de crânio em crianças, das revisões bibliográficas, dos testes realizado com o Phantom, e das informações descritas no final de cada teste, elaboramos um protocolo que será disposto em forma de tabela.

Na tabela 3 está disposto um protocolo disposto dividimos os pacientes por idade e propomos o tipo de corte axial, tempo de varredura, espessura e intervalo do corte, bem como um kv e um mAs de valores mais baixos preconizando o princípio ALARA. Também sugerimos os tipos de recon e um Fov de 22 pois temos ciência de que quanto menor a área irradiada, melhor ao paciente. E no final o CTDIvol, que o aparelho nos deu nas informações escritas.

Elaboramos um protocolo otimizado, buscando sempre obedecer às propostas acima, preconizando os NRD e buscando executar o que nos diz o princípio ALARA “tão Baixo tanto razoavelmente possível”. Com base na contextualização e da tabela criada a partir dos testes, pretendemos em um próximo projeto aplicar esta prática, utilizando os resultados obtidos através dos testes com o Phantom; descritos na tabela 3, e com

ajuda de um médico Radiologista termos uma anuência quanto a qualidade e redução de doses e assim aplicarmos definitivamente.

**Tabela 3**

Idade	Corte	Tempo	Espessura	Intervalo	Kv	mAs	Recon1	Recon2	FOV	CTDIvol (mGy)
0 a 18 meses	Axial	1s	5 mm	20mm	100	85	Sndt	Bone	22	9.66
18m a 10a	Axial	1s	5mm	20mm	100	95	Sndt	Bone	22	10.79

## CONCLUSÃO

Fundamentado em todas estas revisões bibliográficas, nos testes realizados; descrito na metodologia, concluímos que é possível, realizar TC de alta qualidade a uma fração de dose de radiação que se pensava ser possível. Usando uma fusão de estratégias de redução de dose e minimizando os riscos, estas técnicas que devem começar no consultório do médico assistente, pois ele próprio deve se questionar se o exame de tomografia é justificado ou deve escolher outra categoria de exame. Na escolha da tomografia o paciente então deve buscar centros que tenham comprometimento com a otimização da dose, diminuindo então os riscos de doses, riscos estes que podem ser diminuídos através do uso de filtros de feixe, que reduzem a intensidade dos raios x, ter conhecimento dos NRDs, fazer uso do CAE, diminuir KV e MaS, reduzir o tamanho do Pitch, trabalhar com o menor número de fases possíveis, usar a reconstrução interativa; o importante é que todo serviço de tomografia ofereça um programa de redução de doses, garantindo assim a saúde e bem-estar dos pacientes pediátricos.

Para que isso ocorra é necessário conhecimento e comprometimento de toda equipe envolvida desde o pedido do exame até a sua completa realização, muitas vezes faz-se necessário a realização de treinamentos e investimentos na educação continuada de toda a equipe.

Diante disso abrimos precedentes para um póster estudo, que gostaríamos de poder aplicar o protocolo descrito na tabela 3.

## REFERÊNCIAS

- AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE (AAPM). **The Measurement, Reporting , and Management of Radiation Dose in CT**. Report of AAPM task groups 23 of the Diagnostic Imaging Council CT Committee. January 2008 by AAPM.
- BALDAÇARA, Leonardo. **Manual de Orientação para Pós-Graduação em Ciências da Saúde**. Palmas: To, 2013
- BONATO, Cassiane C.; ELNECAVE, Regina H. Alterações tireoidianas associadas à radiação externa em crianças e adolescentes. **Arquivos Brasileiros Endocrinologia Metabolismos**, vol.55, n. 6. São Paulo, Aug. 2011. p. 359-366.
- DALMAZZO, Juciléia et al. Otimização da dose em exames de rotina em tomografia computadorizada: estudo de viabilidade em um hospital universitário. **Revista Radiologia Brasileira**, Jul/Ago, 2010, 43(4): 24-248.
- DAROS, Kellen. **Avaliação das doses de radiação X em exames pediátricos de tomografia computadorizada de crânio com base em estudos de otimização**. Tese (Doutorado)- Universidade Federal de São Paulo. Escola Paulista de Medicina, programa de Pós-graduação em radiologia e Ciências Radiológicas. São Paulo, SP, 2005.

EURATOM. Council Directive. **Jornal Oficial das Comunidades Europeias**, Medical Exposure Directive (MED) on the protection of persons undergoing medical exposures, documento 397L0043. 30 de Junho de 1997.

FINATTO, Jerusa D. et al. Estudo comparativo de descritor de dose em exames pediátricos de tomografia computadorizada. **Brazilian Journal Radiation Sciences**, 2015. p.01-09

GOLDMAN, Lee; SCHAFER, Andrew I. **Cecil Medicina**, vol, 1, ed., 24. Elsevier, 2014.

GOO, Hyun Woo. CT Radiation Dose Optimization and Estimation: an Update for Radiologists. **Korean J Radiol.**, 13(1), Jan/Feb 2012.

HAAGA. John R.; NAKAMOTO, Dean A. Clínicas Radiológicas de Norteamérica. **Tomografia Computarizada multidetector del abdomen**, n. 06, vol. 43, Elsevier, 2005. Barcelona, España.

IARED, Wagner; SHIGUEOKA, David C. Exposição à radiação durante exames de imagem: dúvidas frequentes. **Diagn Tratamento**, 2010, 15(3), 143-5.

JOHNSON. John O.; ROBINS, Jon M.: CT Imaging: Radiation Risk Reduction—Real-Life Experience in a Metropolitan Outpatient Imaging Network. **Journal of the American College of Radiology**, Vol. 9, N. 11, November, 2012.

JUNIOR, Edson A.; YAMASHITAB. Helio. Aspectos básicos de tomografia computadorizada e ressonância computadorizada e ressonância magnética magnética . **Revista brasileira de Psiquiatria**, 2001, 23, Supl I, p. 2-3

LACERDA, Marco Aurélio de S. Radioproteção, dose e risco em exames radiográficos nos seios da face de crianças, em hospitais de Belo Horizonte, MG. **Revista Radiologia Brasileira**, vol. 40, no.6, São Paulo, Nov./Dec. 2007. p. 409-413.

LIN, Eugene C. Radiation Risk From Medical Imaging. **Mayo Clin Proc**, 2010, 85 (12), 1142-1146.

MATHEWS, John D. et al. Cancer risk in 680 000 people exposed to computed tomography scans in childhood or adolescence: data linkage study of 11 million Australians. **BMJ**, 2013; 346.

MEDEIROS. João. **Qualidade de imagem versus dose em Tomografia Computarizada.Otimização dos protocolos de crânio**. Tese de Mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Engenharia Biomédica. 2009.

SAVI, Matheus B.M.B. **Estudo dos níveis de referência de diagnóstico para procedimentos de tomografia computadorizada no estado de Santa Catarina**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em ciências médicas. Florianópolis, SC. 2014.

SILVA, Claudia Isabel M. da. **Medição dos Níveis de Referência de diagnóstico para exames de cabeça e pescoço**. Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Biomédica. Monte de Caparica. 2010

THOMPSON, Larissa. **Resposta Radiológica e Dosimetria em Phantom Físico de Cabeça e Pescoço para Radioterapia Conformacional 3D**. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências e Técnicas Nucleares do Departamento de Engenharia Nuclear da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Ciências e Técnicas Nucleares. Belo Horizonte-MG. 2013

VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **PORTARIA 453**. 01 de junho de 1998.

YU, Lifeng et al. **Optimal Tube Potential for Radiation Dose Reduction in Pediatric CT: Principles, Clinical Implementations, and Pitfalls**. Disponível em: <radiographics.rsna.org>. May-June 2011. vol.32, p. 835-848.

YU, Lifeng et al. **Radiation dose reduction in computed tomography: techniques and future perspective**. Imaging Med. Author manuscript; available in PMC, 2012, February 3.

