

# Otimização de exames de extremidade para radiologia computadorizada

## Extremity exams optimization for computed radiography

Ana Luiza M. Pavan<sup>1</sup>, Diana R. Pina<sup>2</sup>, Allan Felipe F. Alves<sup>1</sup>, Alexandre F. Velo<sup>1</sup> e José Ricardo A. Miranda<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Biociências de Botucatu, Departamento de Física e Biofísica, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP) – Botucatu (SP), Brasil.

<sup>2</sup>Faculdade de Medicina de Botucatu, Departamento de Doenças Tropicais e Diagnóstico por Imagem, UNESP – Botucatu (SP), Brasil.

### Resumo

A radiologia computadorizada (CR) tem se tornado o dispositivo mais utilizado para aquisição de imagem, desde a sua introdução na década de 80. A detecção e o diagnóstico precoce, obtidos através dos exames de CR, são importantes para o sucesso do tratamento de doenças que acometem a mão. Entretanto, as normas utilizadas para otimização destas imagens são baseadas em protocolos internacionais. Portanto, faz-se necessário a determinação de cartas de técnicas radiográficas para sistema CR, que proporcione um diagnóstico médico seguro, com doses tão baixas quanto razoavelmente exequíveis. O objetivo deste trabalho é desenvolver de um simulador homogêneo de extremidade a ser utilizado no processo de calibração das técnicas radiográficas. No processo de construção do simulador foi desenvolvido um algoritmo quantificador de tecidos, utilizando o software Matlab<sup>®</sup>. Nesse processo foi quantificado a espessura média de tecidos moles e ósseos presentes na região da mão de um simulador antropomórfico, como também a espessura correspondente em materiais simuladores (alumínio e lucite) utilizando aplicação de máscara e técnica de remoção de gaussianas dos histogramas correspondentes aos tecidos de interesse. O simulador radiográfico homogêneo foi utilizado para calibrar o feixe de raios X. As técnicas calibradas foram aplicadas em um simulador antropomórfico de mão. As imagens obtidas foram avaliadas por especialistas da área de radiologia pelo método de AGV. Foram estimadas as doses na superfície de entrada na pele (DSE) correspondentes à cada técnica obtida com suas respectivas carga do tubo de raios X. As espessuras de materiais simuladores que constituem o simulador homogêneo determinadas neste estudo foram: 19,01 mm de acrílico e 0,81 mm de alumínio. A imagem de melhor qualidade com doses tão baixas quanto razoavelmente exequíveis apresentou uma redução de dose e carga do tubo em torno de 53,35% e 37,78% respectivamente, em relação as normalmente utilizadas pela rotina clínica de radiodiagnóstico do HCFMB-UNESP.

**Palavras-chave:** simulação, dosimetria, radiologia, extremidade superior.

### Abstract

Abstract. The computed radiography (CR) has become the most used device for image acquisition, since its introduction in the 80s. The detection and early diagnosis, obtained through CR examinations, are important for the successful treatment of diseases of the hand. However, the norms used for optimization of these images are based on international protocols. Therefore, it is necessary to determine letters of radiographic techniques for CR system, which provides a safe medical diagnosis, with doses as low as reasonably achievable. The objective of this work is to develop an extremity homogeneous phantom to be used in the calibration process of radiographic techniques. In the construction process of the simulator, it has been developed a tissues' algorithm quantifier using Matlab<sup>®</sup>. In this process the average thickness was quantified from bone and soft tissues in the region of the hand of an anthropomorphic simulator as well as the simulators' material thickness corresponding (aluminum and Lucite) using technique of mask application and removal Gaussian histogram corresponding to tissues of interest. The homogeneous phantom was used to calibrate the x-ray beam. The techniques were implemented in a calibrated hand anthropomorphic phantom. The images were evaluated by specialists in radiology by the method of VGA. Skin entrance surface doses were estimated (SED) corresponding to each technique obtained with their respective tube charge. The thicknesses of simulators materials that constitute the homogeneous phantom determined in this study were 19.01 mm of acrylic and 0.81 mm of aluminum. A better picture quality with doses as low as reasonably achievable decreased dose and tube charge around 53.35% and 37.78% respectively, compared normally used by radiology diagnostic routine clinical of HCFMB-UNESP.

**Keywords:** simulation, dosimetry, radiology, upper extremity.

## Introdução

Os benefícios da aquisição de imagens radiológicas em formato digital rapidamente se tornaram evidentes após a introdução da tomografia computadorizada (TC)<sup>1-3</sup>. A melhoria na tecnologia da computação e de novos materiais levou a uma tendência para a geração de imagens digitais e os exames tradicionais de raios X podem agora ser adquiridos e processados computacionalmente<sup>4,5</sup>. Essa nova tecnologia, quando utilizada com controle e qualidade, pode favorecer a redução da repetição de exames, que acarreta para a instituição um gasto financeiro desnecessário e prejuízo aos pacientes<sup>2,6-8</sup>. As otimizações desses fatores (relação custo e risco-benefício) fazem parte dos objetivos principais de um Programa de Controle de Qualidade (PCQ) e devem ser cuidadosamente considerados<sup>2,6-10</sup>. Como objetivo principal, a radiologia visa diagnosticar patologias com imagens que possuam qualidade suficiente para um correto diagnóstico, com a menor dose possível, segundo o princípio *As Low As Reasonably Achievable* (ALARA)<sup>7</sup>.

Dentre as patologias diagnosticadas na radiologia, as principais que acometem a mão são a osteoartrite e a artrite reumatoide, atingindo cerca de 55 a 70% da população idosa<sup>11</sup>. O exame de raios X é, sobretudo, de baixo custo e muito eficiente para detecção destas e outras doenças, quando realizado com controle e qualidade<sup>5,12,13</sup>. Entretanto, nos dias atuais, são raras as instituições que apresentam cartas de técnicas radiográficas para realização de exames, conforme é solicitado pelas normas vigentes<sup>14</sup>. Ao se tratar de radiologia computacional, pode se considerar uma lacuna na rotina clínica. As instituições que utilizam esse método de diagnóstico por imagem empregam as mesmas técnicas de produção de imagem em sistema tela-filme. É importante salientar que as normas nacionais vigentes não descrevem protocolos a serem utilizados no processo de otimização de imagens computacionais. Os protocolos de otimização utilizados para esse método de diagnóstico por imagem são baseados em protocolos internacionais<sup>15</sup>. Devido a isso, há a necessidade da criação de cartas radiográficas otimizadas para CR.

O objetivo deste estudo é desenvolver um algoritmo, em ambiente Matlab®, capaz de diferenciar e quantificar tecidos da região anatômica da mão (de um simulador radiográfico antropomórfico de extremidade); a construção de um simulador radiográfico homogêneo de extremidade (mão); e criar uma carta de técnicas radiográficas otimizadas utilizando o simulador desenvolvido.

## Material e Métodos

### Construção do Algoritmo Quantificador de Tecido

Um estudo da quantificação da espessura média de tecidos biológicos se faz necessário, como uma medida preliminar, para a construção dos objetos simuladores homogêneos de mão<sup>16</sup>. Dessa forma, o algoritmo quantificador de tecido, desenvolvido em ambiente Matlab®, classifica e quantifica

tecidos biológicos a partir de imagens tomográficas do simulador radiográfico antropomórfico de mão, no formato DICOM, através da leitura de cada corte axial da imagem.

Todas as imagens selecionadas do exame são lidas e nelas aplicada uma máscara para remoção de artefatos, resultando em imagens com apenas a região de interesse. Também são calculadas as espessuras Antero-Posterior (AP) e Lâtero-Lateral (LL), assim como os histogramas de cada imagem. Dessa forma, é calculada a média dessas espessuras (AP e LL) e dos histogramas, gerando um histograma médio (de todos os cortes) apresentando os distintos tecidos (mole e ósseo) conforme apresenta a Figura 1. Os histogramas apresentam a quantidade de pixels por número de HU (do inglês, *Hounsfield Unit*).

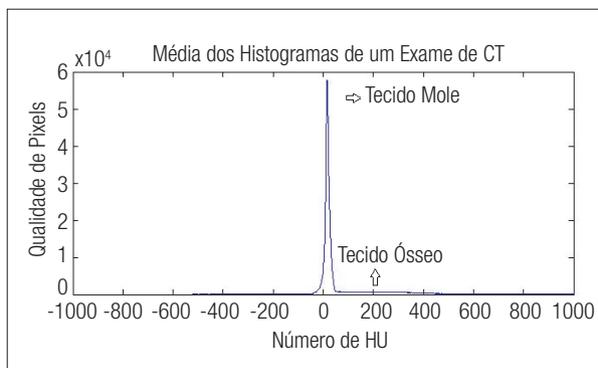
A partir da média dos histogramas, é realizado um ajuste de distribuição gaussiana dos pixels das imagens, possibilitando a distinção e quantificação dos tecidos presentes no livre caminho médio do feixe de raios X<sup>16,17</sup>. Para cada distinto tipo de tecido presente em uma imagem tomográfica (tecido ósseo e mole), seu histograma apresenta um pico característico. A área diretamente abaixo das curvas apresentadas pelo histograma representa a quantidade total de pixels para cada tecido avaliado. Através da remoção das gaussianas e do tamanho do pixel, é possível estimar a espessura média dos seus respectivos tecidos biológicos simulados<sup>16</sup>.

As espessuras médias de simuladores de tecidos biológicos (tecidos ósseo e mole) que constituem o simulador radiográfico antropomórfico foram convertidas em espessuras correspondentes de lucite e alumínio respectivamente, utilizando o programa MATSIM®, desenvolvido em Fortran<sup>18</sup>.

A Figura 2 apresenta o fluxograma do algoritmo quantificador de tecidos desenvolvido neste estudo.

As espessuras de lucite e alumínio, determinadas neste estudo, foram arranjadas conforme estudos prévios<sup>15</sup>. A espessura de lucite foi dividida em duas placas iguais e a placa de alumínio inserida entre elas, conforme ilustra Figura 3.

Este estudo foi aprovado junto ao Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Medicina de Botucatu (FMB), sob o protocolo CEP 4313-2012.



**Figura 1.** Média dos Histogramas gerado pelo Algoritmo Quantificador de Tecido (mole e ósseo).

### Procedimento de otimização da imagem

Esse procedimento foi realizado em um equipamento de raios X Siemens modelo: 844002, e um digitalizador Agfa HealthCare 85-X.

O primeiro passo para otimização da qualidade da imagem é a calibração do feixe de raios X utilizando o simulador radiográfico homogêneo<sup>19</sup> previamente desenvolvido. As imagens do simulador, foram adquiridas para a técnica (combinação entre kVp e mAs) utilizada na rotina clínica. Através desta técnica, foram selecionados outras combinações, levando-se em consideração a exposição média logarítmica (lgM entre 1.8 e 2.0) conforme recomenda o fabricante<sup>20</sup>. As técnicas calibradas foram aplicadas em um simulador radiográfico antropomórfico, conforme é visto na Figura 4, e as DSE foram estimadas, utilizando uma câmara de ionização Radcal 9015.

As imagens obtidas foram avaliadas por radiologistas adotando o método de Avaliação Gradativa Visual (AGV), onde

foram atribuídos valores variando de -2 a +2 (-2 corresponde a uma imagem de baixa qualidade e +2 uma imagem de boa qualidade) tanto para as estruturas ósseas quanto moles.

Foi selecionada como técnica *Gold Standard* a que apresentou doses tão baixas quanto razoavelmente exequíveis.

### Resultados

A Tabela 1 representa a relação entre as técnicas calibradas (lgM entre 1.8 e 2.0), as avaliações clínicas envolvidas neste estudo (avaliação de tecido mole e ósseo), com suas respectivas doses. A última linha apresenta a técnica normalmente utilizada na rotina clínica do Hospital de Clínicas da Faculdade de Medicina de Botucatu (HCFMB-UNESP).

A Tabela 2 compara a técnica normalmente utilizada na rotina clínica e a determinada neste estudo como *Gold Standard*, com suas respectivas cargas do tubo e DSE.

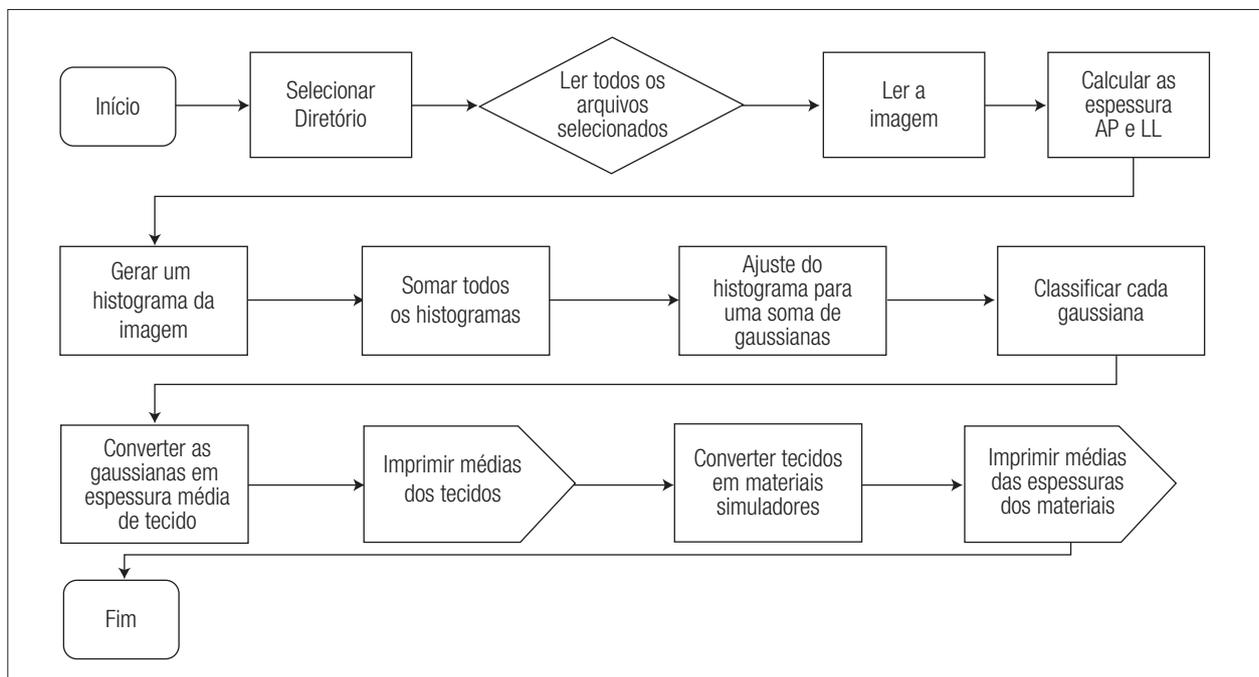


Figura 2. Fluxograma do algoritmo quantificador de tecido biológicos.

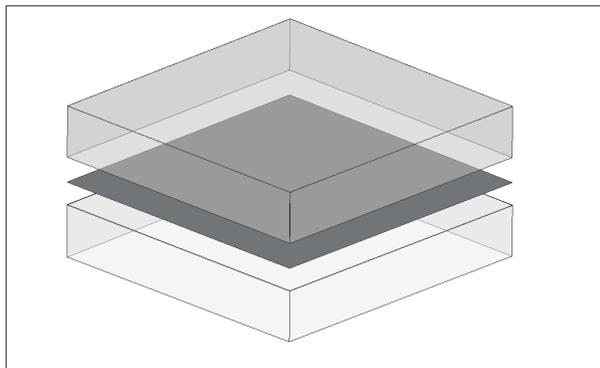


Figura 3. Esquema de montagem do simulador radiográfico homogêneo de extremidade (Mão).



Figura 4. Simulador radiográfico antropomórfico de mão<sup>21</sup>.

**Tabela 1.** Técnicas calibradas, avaliações atribuídas para cada imagem e a dose na superfície de entrada.

Técnica (kVp/mAs)	AGV		
	Ósseo	Mole	DSE( $\mu$ Gy)
40/1,25	-1	+1	14,53
40/1,4	+2	+2	16,45
40/1,6	0	+2	19,05
41/1,25	-1	+1	15,96
41/1,4	-1	+1	17,91
41/1,6	0	+2	20,76
42/1,25	+1	+2	17,42
42/1,4	0	+1	19,62
42/1,6	+1	+2	22,41
43/1,25	+1	+2	18,94
43/1,4	0	+1	21,21
43/1,6	0	+2	24,21
45/2,0	+1	+2	35,26

**Tabela 2.** Comparação entre a técnica da rotina clínica e a *gold standard*.

Técnica	Carga do Tubo (J)	DSE ( $\mu$ Gy)
<i>Gold standard</i>	56	16,45
Rotina clínica	90	35,26

## Discussão e Conclusões

Ao analisarmos a Tabela 1, seguindo o princípio ALARA, a técnica escolhida como *Gold Standard* é a que utiliza 40 kVp e 1,4 mAs, uma vez que possui nota máxima na AGV e, ainda assim, reduz a dose em 53,35% e a carga do tubo em 37,78% quando comparada com a técnica utilizada na rotina clínica.

Este estudo é de extrema importância devido à lacuna existente na literatura ao se tratar de extremidades em radiologia, ainda mais em relação a exames de tecnologia em radiografia computadorizada. Essa otimização é de grande valia dado à importância da radiologia no diagnóstico e acompanhamento de patologias que acometem as mãos<sup>7,23</sup>.

Portanto, os dados obtidos possibilitaram a construção de um simulador radiográfico homogêneo de mão e, a partir deste, a otimização de carta de técnicas no setor de raios X, podendo ser implementada na rotina clínica de qualquer setor de radiodiagnóstico.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES pelo apoio financeiro, e ao Laboratório de Biomagnetismo-Botucatu pelo espaço gentilmente fornecido.

## Referências

- Sozanski T, Sokolska V, Gomulkiewicz M, Magdalan J, Trocha M, Bładowska J, et al. Filmless Radiology - Digital Radiography Systems. *Adv Clin Exp Med*. 2009;18:641-8.
- Srinivasan M, Liederman E, Baluyot N, Jacoby R. Saving time, improving satisfaction: the impact of a digital radiology system on physician workflow and system efficiency. *J Healthc Inf Manag*. 2006;20(2):123-31.
- Brenner DJ, Hall EJ. Computed tomography--an increasing source of radiation exposure. *N Engl J Med*. 2007;357(22):2277-84.
- Luz RM, Hoff G. Estudo Comparativo da Qualidade da Imagem e do Kerma, de Entrada e de Saída, em Simulador de Tórax Utilizando Sistemas Analógico e Digitalizado CR de Aquisição de Imagens. *Radiol Bras*. 2010;43(1):39-45.
- Felício CMF, Rodrigues VMCP. A Adaptação do Técnico de Radiologia às novas Tecnologias. *Radiol Bras*. 2010;43(1):23-8.
- Inkoom S, Schandorf C, Fletcher JJ. Optimisation of patient radiation protection in conventional X-ray imaging procedures using film reject analysis: a demonstration of the importance of rare earth screen-film systems. *Radiat Prot Dosimetry*. 2009;136(3):196-202.
- Furquim TAC, Costa PR. Garantia de Qualidade em Radiologia Diagnóstica. *Revista Brasileira de Física Médica*. 2009;3(1):91-9.
- Salomão SC, Marques PMA. Integrating Computer-aided Diagnosis Tools Into the Picture Archiving and Communication System. *Radiol Bras*. 2011;44(6):374-80.
- Lima AA, Carvalho ACP, Azevedo ACP. Avaliação dos padrões de dose em radiologia pediátrica. *Radiol Bras*. 2004;37(4):279-82.
- Pina DR, Duarte SB, Netto TG, Morceli J, Carbi EDO, Souza RTF, et al. Controle de Qualidade e Dosimetria em Equipamentos de Tomografia Computadorizada. *Radiol Bras*. 2009;42(3):171-7.
- Hodkinson B, Maheu E, Michon M, Carrat F, Berenbaum F. Assessment and determinants of aesthetic discomfort in hand osteoarthritis. *Ann Rheum Dis*. 2012;71(1):45-9.
- Hellio Le Graverand MP, Mazzuca S, Duryea J, Brett A. Radiographic grading and measurement of joint space width in osteoarthritis. *Rheum Dis Clin North America*. 2009;35(3):485-502.
- Morales MA, Prediletto R, Rossi G, Catapano G, Lombardi M, Rovai D. Routine Chest X-ray: Still Valuable for the Assessment of Left Ventricular Size and Function in the Era of Super Machines? *Journal of Clinical Imaging Science*. 2012;2:25.
- Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância Sanitária. Portaria/MS/SVS nº 453, de 01 de junho de 1998 D.O.U. 02./06/98.
- Flynn MJ, Hsieh J. Society of Photo-optical Instrumentation Engineers., American Association of Physicists in Medicine. Medical imaging 2006. Physics of medical imaging : 12-16 February 2006, San Diego, California, USA. Bellingham, Wash., USA: SPIE; 2006.
- Souza RTF, Pina DR, Teixeira AS, Lemk N, Hormaza JM, Alvarez M. Estudo Sobre Quantificação e Classificação dos Tecidos Biológicos em Imagens Tomográficas a Partir de Imagens Tomográficas. *Revista Brasileira de Física Médica*. 2010;4(2):19-22.
- Pina DR, Souza RT, Duarte SB, Alvarez M, Miranda JR. Analysis of biological tissues in infant chest for the development of an equivalent radiographic phantom. *Med Phys*. 2012;39(3):1357-60.
- Jennings RJ. A method for comparing beam-hardening filter materials for diagnostic radiology. *Med Phys*. 1988;15(4):588-99.
- Pina DR, Duarte SB, Ghilardi Netto T, Morceli J. Phantom development for radiographic image optimization of chest, skull and pelvis examination for nonstandard patient. *Appl Radiat Isot*. 2009 Jan;67(1):61-9.
- Velo AF, Pina DR, Duarte SB, Alvarez M, Oliveira M, Ribeiro SM, et al., editors. Image Quality Evaluation of Chest for Computed Radiography. World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering. Beijing, China: Springer; 2012.
- Júnior CO, Rodrigues ELL. Software automático para determinação da idade óssea baseado no método de Eklof & Ringertz. *Revista Brasileira de Física Médica*. 2009;2(1):15-9.
- Chu RYL, Fisher J, Archer BR, Conway BJ, Goodsit MM. AAPM Report No. 31: Standardized Methods for Measuring Diagnostic X-Ray Exposures. New York, USA: American Association of Physicists in Medicine by the American Institute of Physics; 1990.
- Macedo HAS, Rodrigues VMCP. Programa de Controle de Qualidade: a visão do técnico de radiologia. *Radiologia Brasileira*. 2009;41(1):37-41.