

OTIMIZAÇÃO DA TÉCNICA DE EXPOSIÇÃO PARA EXAMES RADIOGRÁFICOS DE PELVE EM SISTEMAS DE RADIOLOGIA COMPUTADORIZADA (RC)¹

OPTIMIZATION OF THE EXPOSURE TECHNIQUE FOR PELVIS RADIOGRAPHIC EXAMS IN COMPUTERIZED RADIOLOGY (CR) SYSTEMS¹

Tobias Soares Gomes², Jéssica Fetzer da Costa Rosa², Juliano Guerra Paim³, Fabiane de Lima Padilha³, Thiago Victorino Claus⁴ e Valnir de Paula

RESUMO

Neste estudo, verificou-se a influência da técnica de exposição na qualidade da imagem (QI) na perspectiva da redução da dose de radiação para exames radiográficos de pelve em sistema de Radiologia Computadorizada (RC). Para simular o exame radiográfico utilizou-se um fantoma antropomórfico representando a anatomia da região da pelve de um paciente adulto. Usou-se um equipamento radiográfico CR para aquisição das imagens, as medidas dosimétricas obtidas com câmara de ionização em quatro técnicas distintas. Com o software ImageJ, foi possível obter os valores de sinal e ruído referente a QI a partir de regiões de interesse (ROI) definidas na anatomia da imagem. Calculou-se a relação sinal-ruído (RSR) e a relação contraste-ruído (RCR). Optou-se pelo desvio percentual para comparar as imagens em relação à imagem de referência. Considerando ambas as doses de radiação e QI, uma Figura de Mérito (FM) foi desenvolvida. Pela FM, a técnica com maior valor de tensão (kVp) e menor produto de corrente pelo tempo de exposição (mAs), usado neste estudo, ocasionou o melhor resultado, ou seja, uma redução de 78% na dose de radiação na superfície, com melhora significativa na RSR e RCR. Assim, de acordo com os resultados obtidos, pode-se afirmar que aumentar em 46% (de 70 para 102) o kVp e reduzir em 86% (de 25 para 3,6) o mA.s configura, a melhor relação custo-benefício para todos os ROIs/Anatomia avaliados. A redução da dose consequentemente reduz a dose nos tecidos internos ou órgãos como medula óssea e gônadas, minimizando os riscos dos efeitos somáticos.

Palavras-chave: Raios X, Radiografia Digital, Razão Sinal-Ruído, Dose de Radiação.

ABSTRACT

In this study, the influence of the exposure technique on image quality (IQ) was verified from the perspective of reducing the radiation dosage for radiographic examinations of the pelvis in a Computerized Radiology (CR) system. To simulate the radiographic examination an anthropomorphic phantom representing the anatomy of the pelvis region of an adult patient was used. A CR Radiographic equipment was used to acquire the images, the dosimetric measurements obtained with an ionization chamber in four different techniques. With the ImageJ software, it was possible to obtain the signal and noise values related to IQ from regions of interest (ROI) defined in the anatomy of the image. The signal-to-noise ratio (SNR) and the contrast-to-noise ratio (CNR) were calculated. The percentage deviation was chosen to compare the images in relation to the reference image. Considering both radiation dosages and IQ, a Figure of Merit (FM) was developed. Through FM, the technique with the highest voltage value (kVp) and the lowest current product by exposure time (mA.s), used in this study, produced the best result, that is, a 78% reduction in the radiation dosage in the surface,

1 Otimização da técnica de exposição para exames radiográficos de pelve em sistema de Radiologia Computadorizada (RC)

2 Acadêmicos da Física Médica.

3 Acadêmicos de Radiologia.

4 Professor da Universidade Franciscana - UFN. E-mail: clausrx@gmail.com

with significant improvement in SNR and CNR. Thus, according to the results obtained, it can be said that increasing the kVp by 46% (from 70 to 102) and reducing the mA.s by 86% (from 25 to 3.6) configures the best cost-effectiveness ratio benefit to all ROIs/Anatomy evaluated. Dosage reduction consequently reduces the dosage to internal tissues or organs such as bone marrow and gonads, minimizing the risk of somatic effects.

Keywords: X-rays, Filtration, Digital Radiography, Patient Safety, Radiation Dose.

INTRODUÇÃO

Relatórios da Comissão Europeia de Protecção Radiológica No.154 (WALL *et al.* 2008) e 180 (EC, 2014) publicaram que o exame radiográfico de pelve está entre os três principais exames convencionais que mais contribuem com a dose efetiva de exposição para a população total na Europa.

Estudos recentes mostraram que técnicas de exposição que utilizam elevada tensão de pico (kVp) aplicada ao tubo radiográfico, devido à compensação da redução do produto corrente pelo tempo de exposição (mA.s), permitiram doses reduzidas de radiação no paciente sem nenhuma degradação da qualidade da imagem (QI) em sistemas digitais (SD) (PEACOCK; STEWARD; RILEY, 2020).

A QI pode ser avaliada de forma qualitativa e quantitativa, a primeira pode ser definida como o atributo da imagem que influencia a certeza de perceber visualmente os recursos diagnósticos apropriados da imagem para o diagnóstico clínico. A segunda, destina-se avaliação física da imagem (por exemplo, sinal-ruído, relação sinal-ruído (RSR) e relação contraste-ruído (RCR), como métricas altamente precisas e que relacionam-se com as características relevantes de contraste, resolução e ruído (MOORE *et al.*, 2019; TOMPE; SARGAR, 2020).

Segundo Bushong (2010), as medições das doses de radiação são baseadas nas leituras de KERMA no ar (K_{AR}), ou seja, da energia depositada no detector de radiação devido a interação do feixe primário de raios X. Esta grandeza é ajustada à distância entre o foco de raios X e a superfície do paciente para estimar o KERMA no ar incidente (do inglês *measure Incident Air KERMA - INAK*). Associando-se à contribuição da radiação retroespalhada pelos tecidos do paciente, por meio do fator de retroespalhamento (do inglês *backscatter factor - BSF*), obtém-se a dose da entrada na superfície (do inglês *entrance skin air KERMA - ESAK*) (METAXAS *et al.*, 2019).

Embora os efeitos hematológicos das radiações sejam raramente observados em radiologia diagnóstica, em proteção radiológica supõe-se que não existe um limiar de dose, e que existe uma relação linear entre a dose recebida e a probabilidade de um efeito se manifestar, ou seja, são efeitos cumulativos (HALL e GIACCIA, 2012).

Tendo em vista que a dose de radiação para o paciente é reduzida em detrimento da QI, este estudo tem como objetivo a otimização da técnica de exposição pela elevação do kVp e redução do mAs sem perda significativa de sua resolução de imagem em relação a técnica de referência usada para adquirir imagens do fantoma. Por fim, uma relação entre dose de radiação e QI será apresentada.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado no laboratório de radiodiagnóstico dos cursos de graduação de Radiologia e Física Médica, como parte das pesquisas desenvolvidas durante as disciplinas de Procedimentos III e Radiodiagnóstico, respectivamente da Universidade Franciscana (UFN).

EQUIPAMENTOS

Na Tabela 1, estão relacionados os equipamentos com a marca e modelo usados na pesquisa.

Tabela 1 - Descritivo dos sistemas usados na pesquisa

Sistema	Marca	Modelo
Radiográfico	Intecal	MAAF
Detector de radiação	RADCAL	9015
Radiologia Computadorizada (RC)	Carestream	Vita Flex
Placa de Imagem (PI)(35X43) computadorizado	Carestream ImageJ	- Ver. 1.8.0_112

Fonte: Construção do autor

AQUISIÇÃO DAS IMAGENS E MEDIDA DE DOSE DE RADIAÇÃO

Utilizou-se um objeto simulador (fantoma antropomórfico) representando a anatomia da pelve. Todas as imagens foram adquiridas utilizando o mesmo cassete 35 cm x 43 cm colocado no bucky de mesa, evitando variações na aquisição da imagem latente.

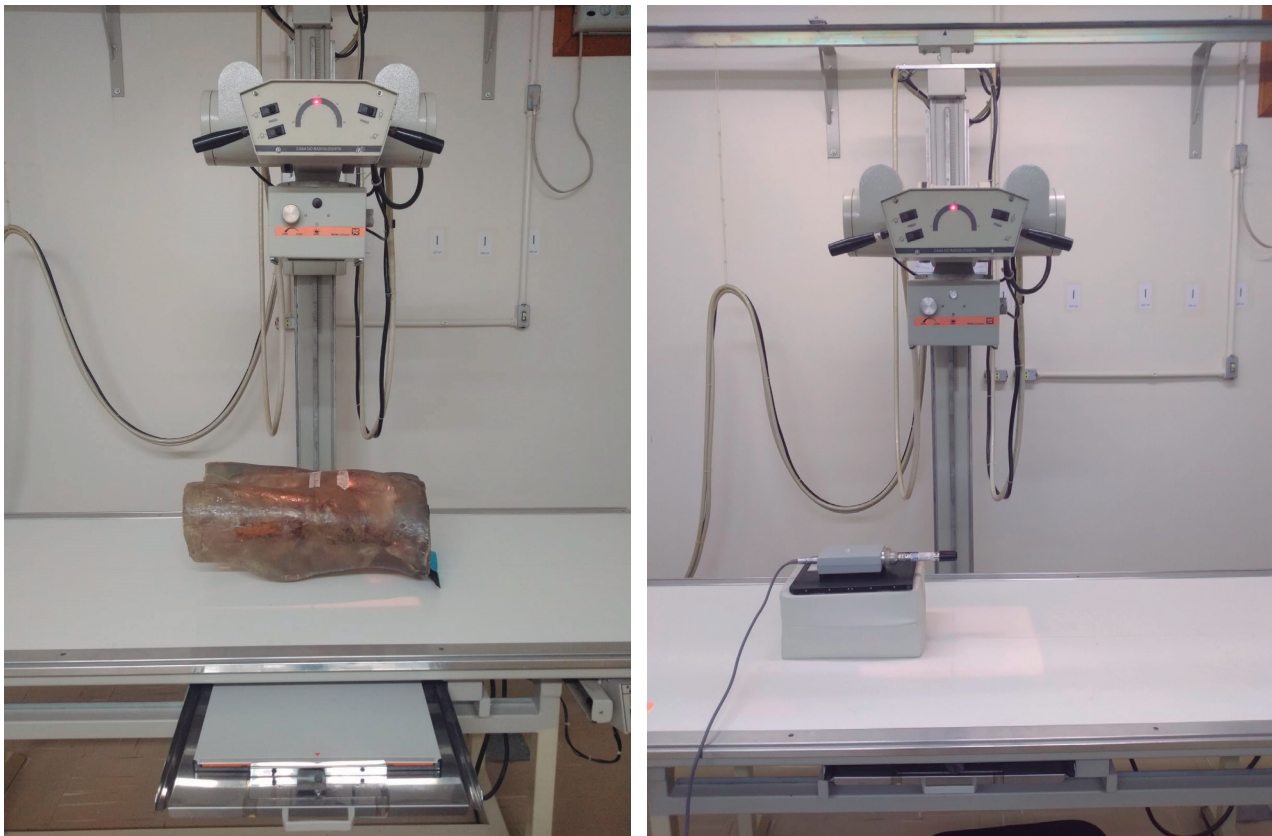
Baseando-se nos resultados Peacock; Steward; Riley (2020), para reduzir doses de radiação do paciente e manter alta QI de diagnóstico para exames radiográficos de pelve, pode ser possível a elevação do kVp em constantes de $\cong 10$ (70 para 81, 90 e 100) kVp, associado a redução do mAs em 50% em relação a imagem de referência, obtendo-se assim, a otimização da técnica de exposição, como uma ferramenta útil em proteção radiológica.

Na Tabela 2, estão representados os valores de kVp e mAs que foram selecionados no painel de comando do equipamento radiográfico para aquisição das imagens e medida de dose de radiação.

Tabela 2 - Parâmetros selecionados para cada técnica de exposição

Fatores elétricos	Técnica 1 (referência)	Técnica 2	Técnica 3	Técnica 4
Tensão de pico (kVp)	70	81	90	100
mA.s	25	12,5	6,3	3,2

Fonte: Construção do autor,

Figura 1 - A geometria de exposição para aquisição de imagens do OS e medida de dose de radiação.

A Figura (1a) ilustra a geometria de irradiação para obtenção de imagem do fantoma, onde a distância foco-receptor de imagem (DFR) é de 100 cm do ponto focal do equipamento, e a distância fonte superfície (DFS) do fantoma de 20 cm. Figura (1b) ilustra a geometria de irradiação para obtenção de dose. A área sensível da câmara de ionização está posicionada a 20 cm acima da mesa para avaliar a dose na superfície.

Conforme apresentado na Figura (1a), foi obtida uma imagem para cada técnica, gerando um total de quatro imagens do fantoma as quais foram identificadas conforme a variação de kVp e mAs. Para a medida da KERMA incidente (INAK), foi necessário posicionar e alinhar a área sensível câmara de ionização a 20 cm acima da mesa (representando a superfície do fantoma). Nesta segunda etapa de exposições, o fantoma foi removido durante as medidas, como mostrado na Figura (1b). Foram realizadas 16 exposições em cada grupo de quatro leituras de INAK para cada técnica, e calculado o valor médio para reduzir o erro aleatório.

AVALIAÇÃO DE DOSE

A partir do valor calculado do K_{AR} na superfície, foi possível a obtenção do valor de dose de entrada na pele (ESAK), conforme equação 1.

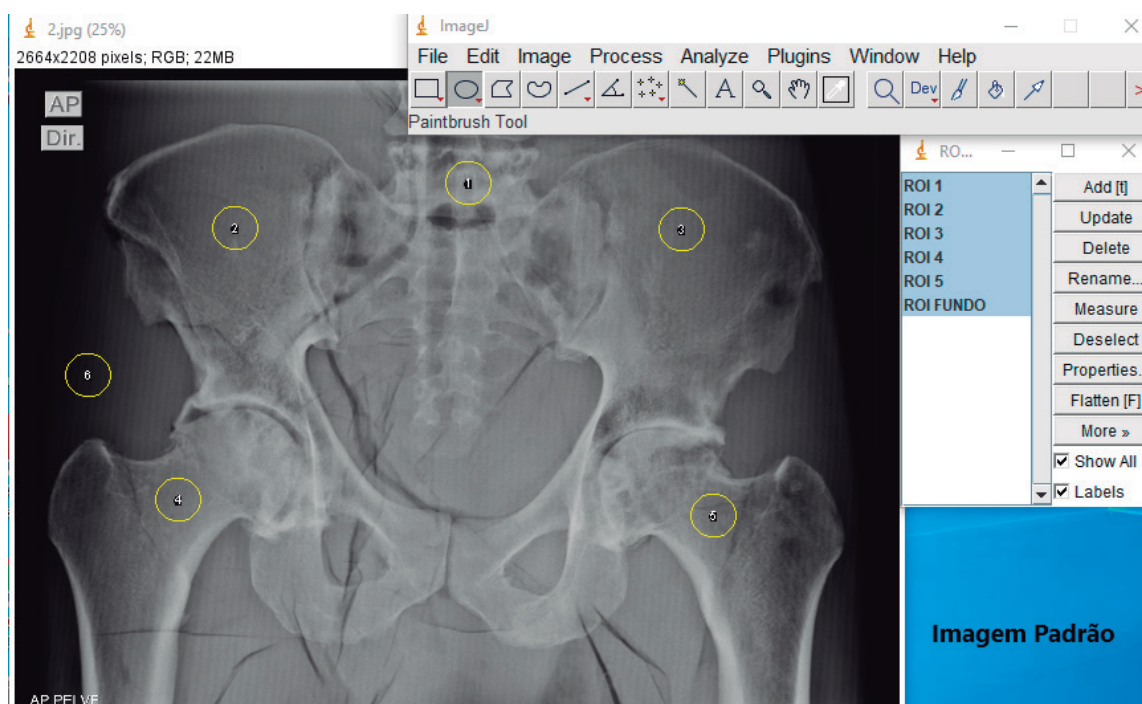
$$ESAK = INAK \times BSF \quad (1)$$

O *INAK* é o *KERMA no ar incidente obtido* com a câmara de ionização na distância de 20cm representando a superfície do fantoma e *BSF* é o fator retroespalhamento (do inglês *backscatter factor*). Utilizou-se o valor de 1,4, adequado para os valores de tensão do estudo, conforme o formalismo Arcal XLIX (PORTOCARRERO *et al.*, 2021).

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE IMAGEM (QI)

A qualidade das imagens foi avaliada por meio de um software de domínio público, *ImageJ* (WAYNE, 2022). Para determinar entre as regiões de interesse (do inglês - regions of interest - ROI) o sinal e o ruído das imagens obtidas, foram posicionados na imagem 6 ROIs para cada técnica. O primeiro centralizado no Osso Sacro (S1), o segundo na Asa Íliaca Direita, o terceiro na Asa Íliaca Esquerda, o quarto no Colo do Fêmur Direito, o quinto no Colo do Fêmur Esquerdo e o sexto na borda lateral esquerda da imagem sem anatomia, este representando o fundo de imagem, todos redondos de mesma área (13.684 mm²).

Figura 2 - Localização dos ROIs na imagem de referência, no programa *ImageJ*



Fonte: Construção do autor

Para cada imagem foi avaliado o valor do sinal (média dos pixels) de cada ROI/Anatomia e o ruído (respectivo desvio padrão) para cada imagem. Para se ter uma melhor análise da QI, realizou-se o cálculo da RSR para cada ROI/Anatomia e para o cálculo da RCR foram selecionados o ROI 3 (Asa do Íliaco Esquerdo) e ROI 6 (Fundo de Imagem) conforme equações 2 e 3, respectivamente.

$$RSR = \frac{\text{Média dos valores de sinal (ROI)}}{\text{Desvio Padrão (ruído)}} \quad (2)$$

$$RCR = \left| \frac{\text{Média dos valores de sinal Fundo (ROI 6)} - \text{Média dos valores de sinal (ROI 3)}}{\text{Desvio padrão (Fundo)}} \right| \quad (3)$$

CRITÉRIOS DE SELEÇÃO

Por não existirem valores de referência para definir os limites dos descritores de QI, considerou-se como tais, os valores aqueles medidos nas imagens de referência, adquirida com a técnica 1. Optou-se pelo desvio percentual (D%) para comparar as imagens adquiridas em relação à imagem de referência, conforme a equação 4:

$$D(\%) = \left(\frac{\text{novo valor}}{\text{Valor padrão}} \right) - 1 \quad (4)$$

OTIMIZAÇÃO: FIGURA DE MÉRITO (FM)

A FM quantifica a relação entre a QI, aqui tomada como RCR, e a ESAK, sendo aplicado a fim de ajudar a verificar a influência da técnica ao se considerar os dois parâmetros simultaneamente, conforme a equação 5:

$$FM = \frac{RCR}{ESAK} \quad (5)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3, estão representados os valores dos parâmetros elétricos selecionados no painel de comando do equipamento radiográfico para cada técnica e seus desvios percentuais em relação à Técnica 1 de referência.

Tabela 3 - Fatores elétricos selecionados para cada técnica

	Técnica 1	Técnica 2	Técnica 3	Técnica 4
kVp	70	81	90	102
mA.s	25	12,6	6,2	3,2
Elevação percentual (%) kVp		16%	29%	46%
Redução percentual (%) mAs		-50%	-75%	-87%

Fonte: Construção do autor

Para um determinado exame radiográfico, o valor selecionado para o mAs afetará diretamente a quantidade de radiação transmitida pelo paciente e que é usada para produzir a radiografia resultante (desde que a penetração do feixe seja a adequada).

Na Tabela 4, estão representados os valores das quatro leituras de INAK (mGy), bem como o valor médio das leituras, os resultados de ESAK calculados pela equação 1 e os desvios percentuais de ESAK em relação à Técnica 1(referência)..

Tabela 4 - Leitura (L) e média dos valores de INAK (mGy) e resultado de ESAK (mGy) para cada técnica

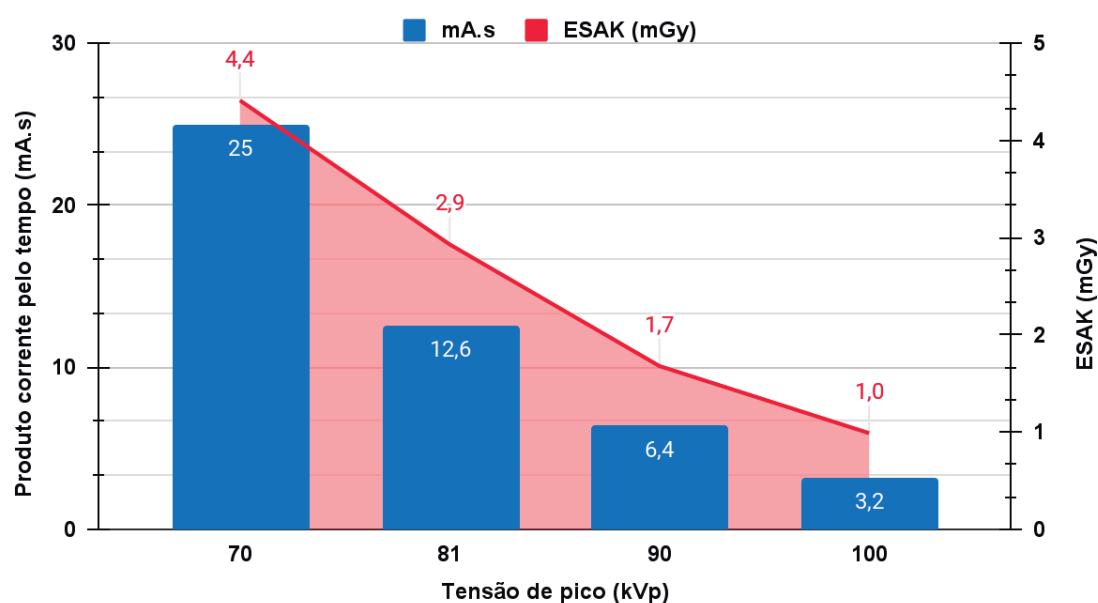
Leitura (L)	Técnica 1 (referência)	Técnica 2	Técnica 3	Técnica 4
	INAK (mGy)			
L1	3,15	2,09	1,19	0,72
L2	3,15	2,10	1,19	0,72
L3	3,16	2,09	1,21	0,72
L4	3,16	2,10	1,20	0,69
Média (L)	3,15	2,09	1,20	0,71
ESAK (mGy)	4,41	2,93	1,68	0,99
Desvio percentual (%)		-34%	-62%	-78%

Fonte: Construção do autor

Devido a otimização aplicada às técnicas 2, 3 e 4, onde o kVp foi elevado em constantes de 10, ou seja, 16%, 29% e 46%, associado a redução do mAs de 50%, 75% e 86%, obteve-se uma redução de ESAK em 34%, 62% e 78%, em relação a técnica 1 de referência, respectivamente. Este fato resulta da redução do mAs, como mostrado na Figura 3.

Figura 3 - Otimização da técnica de exposição e redução de dose de radiação

Fatores elétricos do tubo de raios X versus dose



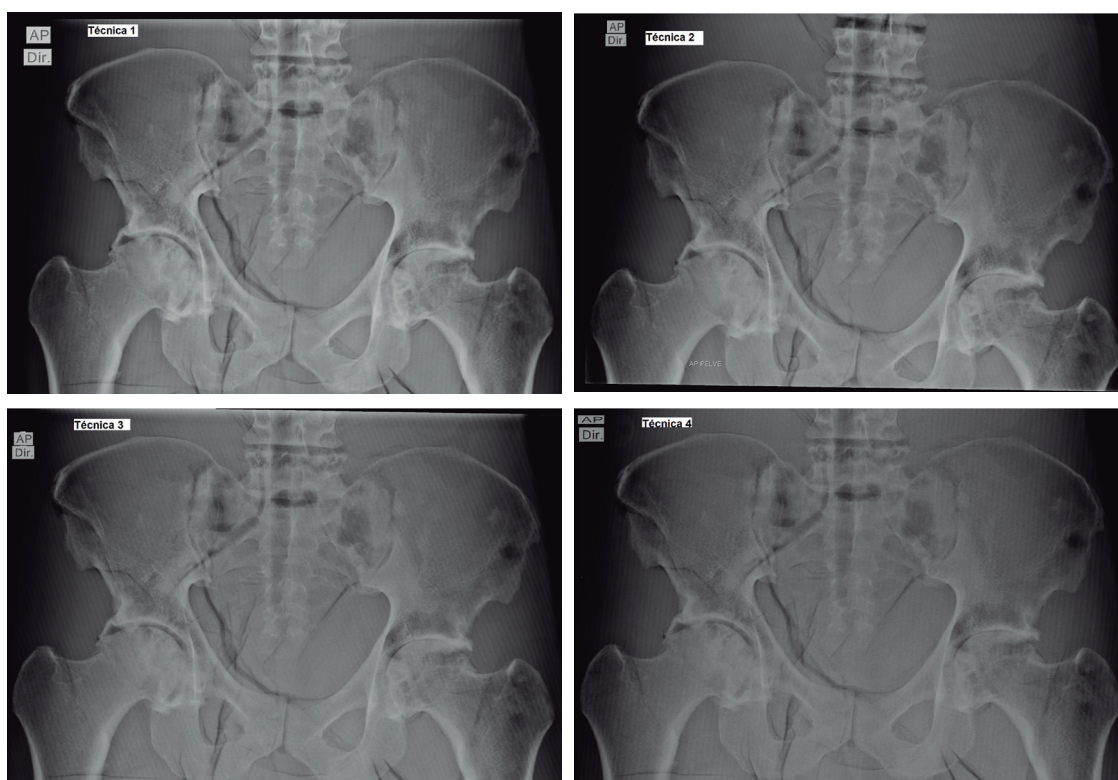
Fonte: Construção do autor

Observa-se na Figura 3, que o fato de elevar o kVp em constantes de 10 e acompanhado da redução do mAs resulta em otimização da técnica de exposição, pois reduz a quantidade efetiva de fótons do feixe de raios X com expressiva redução de dose de radiação. Assim, esse princípio deve ser empregado pelos profissionais da radiologia na prática clínica como ferramenta de proteção radiológica.

RESULTADOS DA QUALIDADE DE IMAGEM

Na Figura 4, estão apresentadas as 4 radiografias obtidas do fantoma para cada técnica. Nota-se que, visualmente, a influência da técnica na QI é muito pequena. No geral, percebe-se pouca diferença entre as radiografias obtidas com dose de 3,2 mGy (Técnica 1) até uma dose mínima de 0,7 mGy (Técnica 4). Esta análise mostra que a melhoria da acurácia diagnóstica através da exposição excessiva pode não ser a melhor estratégia, pois a melhoria na visualização de estruturas anatômicas de interesse pode não ser conseguida apenas com mais doses.

Figura 4 - Radiografia da pelve para cada técnica.



Fonte: Construção do autor

Para a Comissão das Comunidades Europeias, os critérios de avaliação para radiografia de pelve devem incluir a reprodução visualmente nítida das estruturas ósseas e os acidentes anatômicos

como: sacro e seus forames intervertebrais, osso íliaco, ramo isquiático, articulações sacroilíacas, colo do fêmur e trocanteres (SEERAM *et al.*, 2016).

Na Tabela 5, estão representados os valores médios de sinal e ruído para cada localização ROI/Anatomia para cada técnica.

Tabela 5 - Valores médios de sinal e ruído para cada ROI

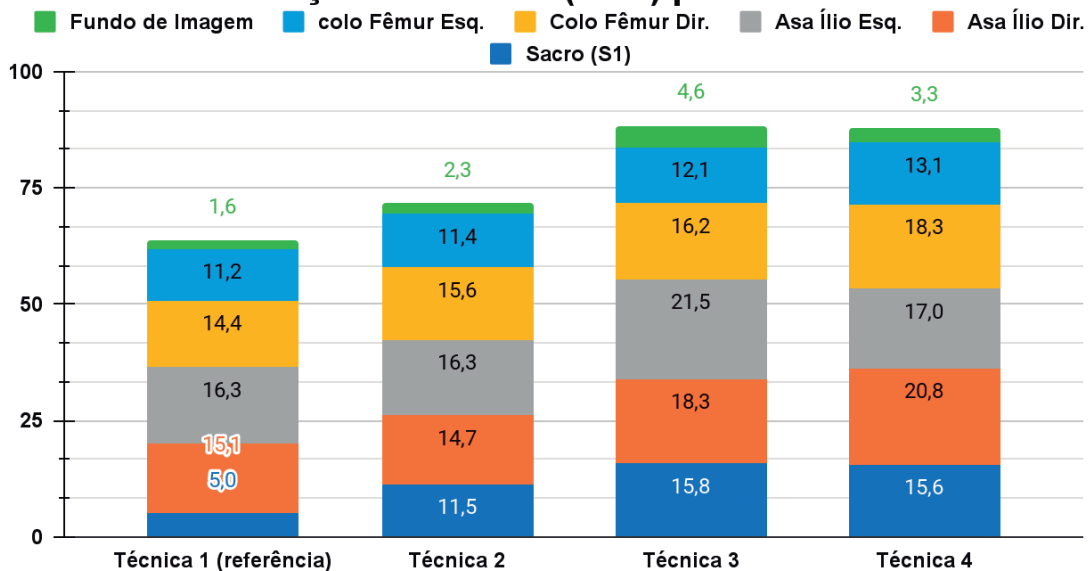
Localização ROI	Técnica 1 (Referência)		Técnica 2		Técnica 3		Técnica 4	
	Sinal	Ruído	Sinal	Ruído	Sinal	Ruído	Sinal	Ruído
Sacro (S1)	138,11	27,63	117,37	10,24	124,11	7,88	109,98	7,07
Asa Ílio Dir.	96,90	6,41	82,67	5,64	94,98	5,19	87,76	4,23
Asa Ílio Esq.	96,95	5,93	83,05	5,10	96,18	4,48	81,74	4,79
Colo Fêmur Dir.	108,11	7,48	105,48	6,75	103,28	6,38	97,96	5,36
Colo Fêmur Esq.	109,85	9,85	105,52	9,26	105,05	8,68	93,99	7,18
Fundo de Imagem	33,92	20,68	16,36	7,17	32,87	7,11	24,66	7,51

Fonte: Construção do autor.

Na Figura 5, estão representados graficamente os valores da RSR para cada ROI/Anatomia calculados pela equação 1 para cada técnica.

Figura 5 - Relaciona o valor médio da RSR para cada ROI/Anatomia em função da Técnica.

Técnica Versus Relação sinal-ruído (RSR) para cada ROI/Anatomia

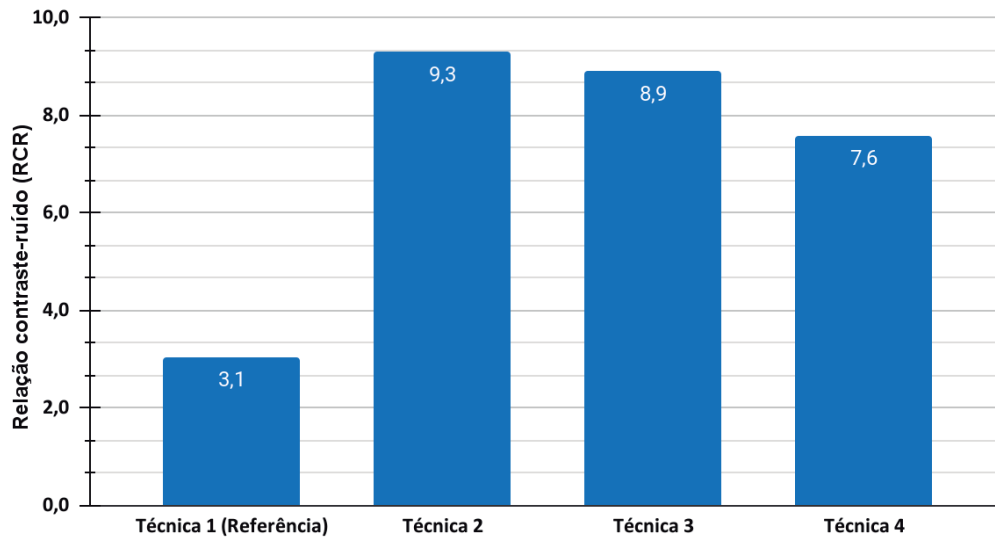


Fonte: Construção do autor

Na Figura 6, estão representados os valores médios da RCR, calculados pela equação 2.

Figura 6 - Relaciona o valor médio da RCR entre anatomia (ROI 3) e o Fundo de imagem (ROI 6).

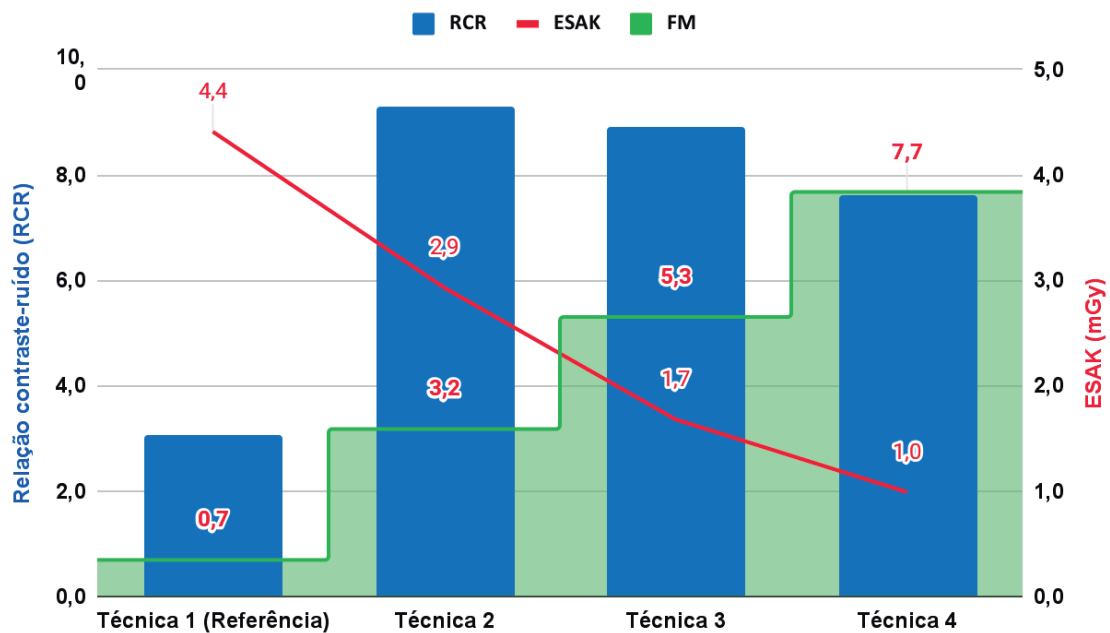
Técnica Versus Relação contraste-ruído (RCR)



Fonte: Construção do autor

A Figura 7 mostra a otimização por FM pela razão entre a RCR com a dose de radiação na superfície (ESAK), calculada pela equação 5.

Figura 7 - Otimização por Figura de Mérito



Fonte: Construção do autor

Analisando a FM representada na Figura 7, observou-se que, para a Técnica 4, referente ao maior kVp e menor mAs, obteve-se o melhor resultado, ou seja, uma redução maior que 86,0 % na dose de radiação na superfície, com melhora significativa na RSR e RCR em relação à imagem de referência.

Outros estudos mostraram que os profissionais da radiologia têm oportunidade de reduzir as exposições médicas de 20% a 50%, dependendo da tecnologia empregada, assim o desafio para eles deve ser considerar a QI junto com a dose de radiação por imagem (BUSHONG, 2010; TOMPE; SARGAR, 2020).

Se por um lado o incremento na tensão de pico (kVp) pode reduzir consideravelmente a dose no paciente, por outro, eleva a penetração e a radiação espalhada do feixe de raios X, podendo alterar o contraste da radiografia. Entretanto, o sistema CR permite trabalhar com uma faixa mais ampla de latitude, que pode ser usada para minimizar as exposições médicas garantindo a produção de imagens de qualidade superiores, porém esta técnica não pode ser reproduzida em exames de mamografia por exemplo, tendo em vista a não recomendação do aumento do kVp nestes casos.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo apontam que aumentar em 46% (de 70 para 102) kVp e reduzir em 86% (de 25 para 3,6) mAs configura, no geral, a melhor relação custo-benefício com o uso da Técnica 4, ou seja, dose de radiação versus QI para o exame da pelve. Foi observado uma redução de ESAK do Fantoma em 78% (de 4,4 para 1,0) mGy, com QI (RSR e RCR) superior para todas os ROIs/Anatomia avaliados, em relação à imagem de referência. A redução do kerma incidente consequentemente reduz a dose nos tecidos internos ou órgãos como medula óssea e gônadas, minimizando os riscos dos efeitos somáticos. Os resultados obtidos neste estudo vão ao encontro de outros estudos, e encoraja a otimização da técnica de exposição pelos profissionais da radiologia como forma de proteger o paciente.

REFERÊNCIAS

International Atomic Energy Agency. [online]. Protocolos de Control de Calidad en Radiodiagnóstico: ARCAL XLIX. (2001). Disponível em: <https://bit.ly/3AAF5fc>. Acesso em: jun. 2022.

BUSHONG, S. C.; **Radiologic science for technologists: physics, biology and protection**, St. Louis: Elsevier; Mosby, 638 p., 2010.

EUROPEAN COMMISSION (EC). **Radiation Protection 180**, Medical Radiation Exposure for the European Population. 2014.

HALL, E.; GIACCIA, J .A. **Radiobiology for the Radiologist**. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia (2012), 556 pp. 2012.

METAXAS, Vasileios I. *et al.* Patient doses in common diagnostic X-ray examinations. **Radiation protection dosimetry**, v. 184, n. 1, p. 12-27, 2019.

MOORE, Craig S. *et al.* A practical method to calibrate and optimise automatic exposure control devices for computed radiography (CR) and digital radiography (DR) imaging systems using the signal-to-noise ratio (SNR) metric. **Biomedical Physics & Engineering Express**, v. 5, n. 3, p. 035027, 2019.

PEACOCK, Nicole E.; STEWARD, Adam L.; RILEY, Peter J. An evaluation of the effect of tube potential on clinical image quality using direct digital detectors for pelvis and lumbar spine radiographs. **Journal of medical radiation sciences**, v. 67, n. 4, p. 260-268, 2020.

PORTOCARRERO B, Andres *et al.* **Diagnostic reference levels for common X-ray procedures in Peru**. 2021.

SEERAM, Euclid *et al.* Radiation dose optimization research: exposure technique approaches in CR imaging—a literature review. **Radiography**, v. 19, n. 4, p. 331-338, 2013.

SEERAM, Euclid *et al.* Optimizing the exposure indicator as a dose management strategy in computed radiography. **Radiologic technology**, v. 87, n. 4, p. 380-391, 2016.

TOMPE, Aparna; SARGAR, Kiran. **X-Ray Image Quality Assurance**. StatPearls [Internet], 2020.

WAYNE R. **Software para processamento e análise de imagens**. USA: National Institute of Mental Health, Java. 2021. Disponível em: <http://rsbweb.nih.gov/ij/download.html>. Acesso em: 02 jun. 2022.

WALL, B. *et al.* Radiation Protection No 154. European Guidance on Estimating Population Dose from Medical X-ray Procedures. **European Commission**, 2008.