

Metodologia de Avaliação da Qualidade de Imagem e da Dose de Radiação em Equipamento de Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico O-Arm

Methodology for the Evaluation of Image Quality and Radiation Dose in Cone-Beam Computed Tomography O-Arm

Thiago S. Dias¹, Murilo F.M. Assunção¹, Luís O.N. Silva¹, André F.D. Lima¹, Regina B. Medeiros², Marcelo B. Freitas³

¹Programa de Residência em Área Profissional de Física Médica da UNIFESP, São Paulo, Brasil

²Pós-Graduação em Cardiologia da EPM - UNIFESP, São Paulo, Brasil

³Departamento de Biofísica da EPM - UNIFESP, São Paulo, Brasil

Resumo

Equipamentos de tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT) têm sido amplamente empregados em procedimentos intervencionistas guiados por imagem, exigindo sua caracterização em programas de garantia e controle de qualidade. Apesar da publicação recente de alguns guias e estudos na literatura, ainda não há consenso sobre quais testes, metodologias e padrões de desempenho devem ser empregados para o controle de qualidade rotineiro desses equipamentos. Neste sentido, a partir da revisão das metodologias e dos padrões de desempenho sugeridos na literatura para equipamentos CBCT, foram realizadas escolhas dos métodos com maior viabilidade para avaliação da qualidade de imagem e caracterização dosimétrica para aquisição tomográfica (3D) de um equipamento CBCT modelo O-Arm™ O2 (Medtronic Inc.). Foram realizados testes de uniformidade, ruído, precisão geométrica e espessura de corte, densidade de voxels (número CT) e sua linearidade, resolução de baixo contraste, resolução espacial de alto contraste e índice de dose em tomografia computadorizada (CTDI) para procedimentos de crânio, abdome, tórax e extremidades nos vários protocolos (diferentes modos de exposição e biótipos) configurados pelo fabricante. No estudo também foi realizada monitoração de área no entorno do equipamento simulando a realização de um procedimento típico. O equipamento apresentou linearidade das escalas de densidade de voxels com bom desempenho de resolução espacial e valores de CTDI abaixo dos níveis de referência recomendados, mas pouca uniformidade e baixa resolução de contraste, reforçando que não devem ser empregados os mesmos padrões de desempenho dos equipamentos de TC convencionais. Os resultados obtidos neste estudo fornecem referências para futuras avaliações desse tipo de equipamento, contribuindo para a definição de quais testes e metodologias devem ser empregados rotineiramente nos programas de controle de qualidade.

Palavras-chave: tomografia computadorizada de feixe cônico, radiologia intervencionista, controle de qualidade, qualidade de imagem, dosimetria.

Abstract

Cone beam computed tomography (CBCT) equipment has been widely used in image-guided interventional procedures, requiring its characterization in both quality assurance and quality control programs. Despite the recent publication of some guides and studies in the literature, there is still no consensus on which tests, methodologies and performance standards should be used for the routine quality control of this equipment. In this respect, from the review of the methodologies and performance standards suggested in the literature for CBCT equipment, choices were made of the methods with the greatest feasibility for assessing image quality and dosimetric characterization for tomographic acquisition (3D) of a CBCT model O equipment -Arm™ O2 (Medtronic Inc.). The tests carried out were: uniformity, noise, geometric precision and slice thickness, voxel density (CT number) and its linearity, low contrast resolution, high contrast spatial resolution and computed tomography dose index (CTDI) for skull, abdomen, chest and extremity procedures in the various protocols (different exposure modes and biotypes) configured by the manufacturer. In the study, monitoring of the area around the equipment was also performed, simulating the performance of a typical procedure. The equipment showed linearity of the voxel density scales with good performance of spatial resolution and CTDI values below the recommended reference levels, but poor uniformity and low contrast resolution, reinforcing that the same performance standards as conventional CT should not be used. The results obtained in this study provide references for future evaluations of this type of equipment, contributing to the definition of which tests and methodologies should be used routinely in quality control programs.

Keywords: Cone beam computed tomography, interventional radiology, quality control, image quality, dosimetry.

1. Introdução

A tecnologia de tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT) está disponível desde o ano 2000 e é crescente sua utilização em aplicações de radioterapia, odontologia, procedimentos intervencionistas e cirurgias guiadas por imagem (1). Cada uma destas aplicações possui características

particulares de qualidade de imagem e dose de radiação.

Nos procedimentos de intervencionismo guiados por imagem, os sistemas de navegação padrão (arcos-cirúrgicos) funcionam bem para estruturas estáticas, mas podem não ser eficazes na captura de mudanças estruturais dinâmicas durante o curso das cirurgias. A capacidade de fornecer orientação

de imagem intraoperatória em tempo real e a expansão do campo cirúrgico visual de uma visão bidimensional (2D) para um volume totalmente tridimensional (imagem 3D) possibilitam uma definição mais precisa das estruturas de interesse na medida que as deformações intraoperatórias dos tecidos são consideradas (2).

Dentre os equipamentos de CBCT, destaca-se o uso do equipamento O-Arm™ O2 (Medtronic Inc., Littleton MA) em procedimentos intervencionistas e cirurgias guiados por imagem. Além de ser um equipamento móvel, pode realizar imagens de projeção (2D) e tomográficas (3D) com protocolos clínicos configurados para várias doses de radiação e biótipos de pacientes. Embora sua aquisição tomográfica esteja baseada nos mesmos princípios físicos empregados nos tomógrafos convencionais, suas características particulares de construção e aquisição de imagens empregando feixe cônico de radiação e detector flat panel, associadas às suas aplicações clínicas particulares, impossibilitam que os mesmos padrões de desempenho para qualidade de imagem e dose de radiação dos equipamentos de tomografia computadorizada (CT) convencionais sejam empregados durante os programas de garantia e controle de qualidade. Neste sentido, embora guias ou protocolos específicos de controle de qualidade tenham sido publicados para esta modalidade de equipamento (CBCT) (3-5), ainda há desafios na sua implementação prática considerando as particularidades dos equipamentos disponíveis no mercado. No caso do equipamento O-Arm, ainda são raros e pouco abrangentes os estudos publicados (1,6-8) associando doses de radiação praticadas no paciente e na equipe clínica com avaliação da qualidade de imagem obtida nos diferentes modos de exposição à radiação e biótipos disponíveis nesse equipamento.

No Brasil, a implementação desta tecnologia em procedimentos intervencionistas ainda é pouco frequente, justificando estudos nessa área. Mesmo com a atualização recente das legislações nacionais, às normas e resoluções da autoridade sanitária nacional para equipamentos de diagnóstico por imagem não trazem padrões de desempenho para a avaliação de equipamentos de CBCT em procedimentos intervencionistas. Desse modo, este estudo tem como motivação a caracterização geral das doses de radiação e qualidade das imagens obtidas no modo de aquisição tomográfica (3D) do equipamento O-Arm™ O2 fabricado pela Medtronic, a partir da revisão e do estudo de viabilidade das metodologias e dos padrões de desempenho sugeridos na literatura para equipamentos CBCT. Este estudo pretende contribuir para o desenvolvimento e aprimoramento das metodologias e identificação das dificuldades de avaliação de equipamentos CBCT, apresentando resultados particulares do equipamento O-Arm que permitam comparar seu desempenho com outros equipamentos dessa modalidade.

2. Materiais e Métodos

Neste estudo foi utilizado um equipamento CBCT do tipo O-Arm™ O2 (Medtronic®) constituído por um tubo raios X convencional (Varian Model B100), feixe de 16 cm de largura e detector de tela plana (flat panel detector Varian Model Paxscan 4030D). Este equipamento pode ser utilizado tanto no modo 2D, como um sistema fluoroscópico convencional, quanto no modo 3D, para aquisição de imagens tomográficas (Figura 1). No modo 3D, o conjunto tubo-detector rotaciona 360° e produz imagens semelhantes a uma tomografia computadorizada com uma matriz de voxels de 512 x 512 x 192. As imagens são reconstruídas em 192 cortes de 0,83 mm de espessura. Nas aquisições podem ser empregados campos de visualização (FOV) de 20 ou 40 cm, a depender da região do corpo examinada. Clinicamente, este equipamento é utilizado no tratamento de epilepsia, em cirurgias guiadas por imagem para implantes de eletrodos (implante cerebral de eletrodos profundos), usados na estimulação elétrica das regiões cerebrais comprometidas.

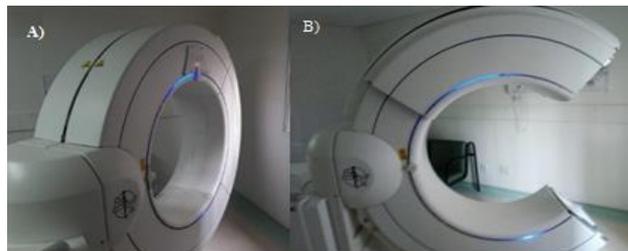


Figura 1. Equipamento O-Arm™ O2 configurado para aquisição em (a) modo 3D (imagem tomográfica) e (b) 2D (imagem projeção – fluoroscopia).

Foram realizadas avaliações de qualidade de imagem e dose de radiação nos protocolos clínicos definidos pelo fabricante para procedimentos na região do crânio, abdome, tórax e extremidades, conforme Tabela 1. Como pode ser observado, o equipamento possui 3 modos de exposição à radiação (dose alta, padrão e baixa - HD, ST, LD, respectivamente), sendo possível empregar ainda no caso de crânio o modo de dose ultra alta (EC – crânio aprimorado). Para cada modo de exposição, podem ser selecionados protocolos diferenciados para 4 tipos de biótipos de paciente: extra-grande (XG), grande (G), médio (M) e pequeno (P).

Nas avaliações de qualidade de imagem, foi utilizado um objeto simulador recomendado para CBCT (CIRS® – Modelo: 062QA-35, Computerized Imaging Reference Systems, Inc. Norfolk; Estados Unidos) que permitiu avaliar o desempenho do equipamento O-Arm nos testes de uniformidade e ruído (Figura 2A), precisão geométrica (Figura 2B), densidade de voxels (n° CT) e sua linearidade (Figura 2C), espessura de corte da imagem reconstruída e resolução de baixo contraste baseada na razão contraste-ruído (CNR) (Figura 2D), resolução espacial de alto contraste baseada na visualização de padrões (pares de linhas/cm) (Figura 2E) e na determinação da função de transferência de modulação (MTF) (ponto central na

Tabela 1. Protocolos clínicos do equipamento O-Arm™ O2 configurados pelo fabricante.

Protocolo	Crânio				Abdome			Tórax			Extremidades		
	EC	HD	ST	LD	HD	ST	LD	HD	ST	LD	HD	ST	LD
Modo de exposição	EC	HD	ST	LD	HD	ST	LD	HD	ST	LD	HD	ST	LD
Biotipo do paciente	P/M/ G/XG	P/M/ G/XG	P/M/ G/XG	P/M/ G/XG	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Tensão (kV)	100/100/ 110/120	120/120/ 120/120	120/120/ 120/120	120/120/ 120/120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
Corrente (mA)	80/100/ 80/63	20/20/ 25/32	25/25/ 32/32	10/10/ 16/20	50	63	25	40	50	25	12,5	16	10
Tempo de rotação (s)	7,45	7,45	3,90	3,90	7,45	3,90	3,90	7,45	3,90	3,90	7,45	3,90	3,90
Produto Corrente x tempo (mAs)	595/744/ 596/469	149/149/ 186/238	98/98/ 125/125	39/39/ 63/78	372	243	98	297	195	98	93	63	39
FOV (cm)	20	20	20	20	40	40	40	40	40	40	20	20	20

Figura 2B). A metodologia empregada nestes testes foi estabelecida a partir de uma revisão da literatura científica sobre metodologia de testes específicos para avaliação de equipamentos CBCT, bem como do estudo de viabilidade para sua aplicação no O-Arm. Dessa forma, foi feita uma escolha das metodologias com uma maior viabilidade para o modelo O-Arm™ O2 (Tabela 2).

Tabela 2. Testes para avaliação da qualidade de imagem do modo tomográfico (3D) recomendados pelo manual/guia da EFOMP³ e por outros estudos utilizando equipamentos CBCT.

Qualidade imagem		
Parâmetros	Procedimentos	Nível de ação
Uniformidade	Curvas de uniformidade XY	>10%
Precisão geométrica	Acurácia geométrica	>2mm
	Espessura de corte	>50% do nominal
Densidade de voxels	Curvas de número CT	Desvios>50 HU
Ruído	Desvio padrão da ROI de uniformidade	Linha de base> 20%
	CNR	Linha de base> 40%
Resolução de baixo contraste	Visualização de estruturas 10% da MTF	-
Resolução de alto contraste	Visualização de estruturas	<5 pl/cm

Fonte: adaptado de Colombo P., eat. AI, 2010, NACHABE, Rami et al, 2019 e EFOMP-ESTRO-IAEA, 2019.

Todas as imagens foram avaliadas usando o programa de domínio público ImageJ (National Institute of Health, NIH, Estados Unidos).

As doses de radiação recebidas pelos pacientes (valor representativo) foram avaliadas a partir da determinação do índice de dose em tomografia computadorizada (CTDI). Nestas avaliações dosimétricas foram utilizados simuladores de polimetilmetacrilato (PMMA) de 32 cm (tronco) e 16 cm (cabeça) de diâmetro (Figura 2F), com medidas de CTDI₁₀₀ realizadas com uma câmara de ionização tipo lápis de 100 mm (Radcal®10X6-3CT). Os valores de CTDI medidos foram comparados aos valores informados pelo fabricante nos relatórios de dose do equipamento.

Com objetivo de monitorar a exposição à radiação no entorno do equipamento durante a realização dos exames, também foram realizadas medidas de kerma no ar utilizando câmara de ionização calibrada de 180 cm³ (Radcal®) posicionada a um metro de distância de um objeto espalhador, localizado no centro do gantry (Figura 3). Nesta avaliação foi empregado um protocolo típico de abdome com 120 kV, 100 mAs e FOV de 40 cm, utilizando como meio espalhador um simulador de acrílico com 32 cm de diâmetro, o mesmo utilizado nas medidas de CTDI.

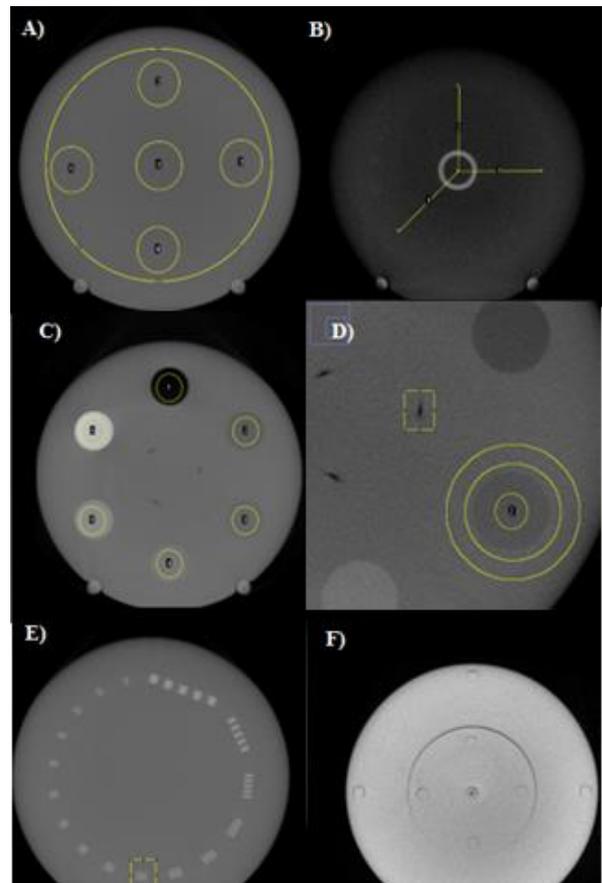


Figura 2. ROIs para análise de qualidade de imagem A) uniformidade e ruído, B) precisão geométrica e visualização de baixo contraste, C) densidade de voxels, D) espessura de corte e razão sinal-ruído (CNR), E) visualização de alto contraste F) simulador tradicional empregado para avaliação do CTDI.

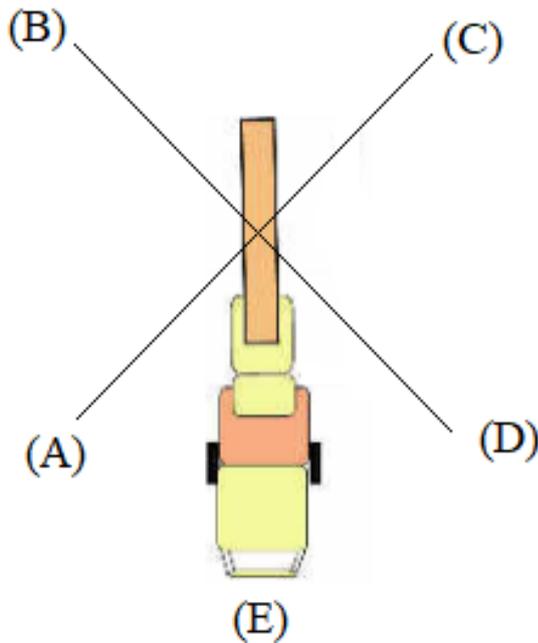


Figura 3. Esquema dos pontos de medida do kerma no ar, simulando a radiação espalhada pelo paciente, sendo que a posição (E) é onde se encontra o painel de comando. Todas as medidas feitas a 1m².

3. Resultados e discussões

Uma revisão da literatura sobre os testes e metodologias empregadas em equipamentos CBCT resultou nas informações apresentadas na Tabela 3. Estas informações estão baseadas na publicação da Federação Europeia de Organizações de Física Médica (EFOMP) (3) e em outros estudos publicados na literatura (7,10) e serviram de base para a escolha dos testes e metodologias efetivamente empregadas na avaliação da qualidade de imagem e caracterização dosimétrica para aquisição tomográfica (3D) do equipamento CBCT modelo O-Arm™ O2 (Tabela 2), apresentados a seguir.

Uniformidade: Na Figura 4 podem ser observados os resultados de uniformidade (%)

determinados neste estudo, tendo a diferença de escala entre a água e o ar como referência. Os protocolos clínicos de crânio aprimorado (EC) apresentam imagens com melhor uniformidade, enquanto nos demais protocolos a uniformidade varia em média de 4% a 6%.

O emprego de uma escala de referência bem ampla para o cálculo da uniformidade torna-se necessário devido à grande variação dos valores de densidade de *voxels* entre a periferia e o centro do simulador causado principalmente pelo endurecimento do feixe de radiação. Na Figura 5 podem ser observados os mapas dos valores de densidade de *voxels* obtidos para os protocolos clínicos de crânio, biótipo pequeno, demonstrando visualmente a não uniformidade ao longo do simulador em comparação com um CT convencional (feixe estreito). Fica evidente que o sistema O-Arm™ O2 apresenta baixa uniformidade em relação a um equipamento de TC padrão especialmente para o protocolo EC que possui um feixe de 100 kV de tensão efetiva.

Ruído: Nos protocolos de crânio, os valores obtidos dos percentuais de ruído variam de 2,0 a 6,2%, enquanto que nos protocolos de abdome, tórax e de extremidades esse ruído variou de 2,9 a 5,1%. Apesar de utilizar os maiores valores do produto corrente-tempo (mAs), os protocolos de crânio aprimorado (EC) apresentam imagens com ruído superior aos demais, possivelmente causado pelos menores valores de tensão (kV) empregados. Com exceção do protocolo de abdome padrão (ST), os demais protocolos de abdome, tórax e extremidades não apresentaram variação significativa no nível de ruído. Ainda que relativamente pequeno quando normalizada pela escala de referência (diferença entre água e ar), o ruído absoluto (σ) presente nas imagens é alto quando comparado a imagens de TC convencional, de feixe estreito.

Tabela 3. Testes e procedimentos utilizados por cada referência para equipamentos CBCT.

Referência	Colombo P, et al., 2010 ⁷	Nachabe, R, et al., 2019 ⁸	EFOMP-ESTRO-IAEA, 2019 ³
Teste	Metodologias	Metodologias	Metodologias
Densidade de voxels	Curvas do N° CT	Exatidão entre o valor de HU medido com o valor de HU real	Valores da densidade de voxels para diferentes materiais
Ruído	$100 \frac{\text{Desvio Padrão}}{\text{Média}_{\text{agua}} - \text{Média}_{\text{ar}}}$	$100 \frac{\text{Desvio Padrão}}{\text{Média}_{\text{agua}} - \text{Média}_{\text{ar}}}$	Cálculo do desvio padrão em uma região uniforme com HU próximo ao da água.
Uniformidade	$100 \frac{\text{Média}_{\text{central}} - \text{Média}_{\text{periferia}}}{\text{Média}_{\text{agua}} - \text{Média}_{\text{ar}}}$	$100 \frac{\text{Média}_{\text{central}} - \text{Média}_{\text{periferia}}}{\text{Média}_{\text{agua}} - \text{Média}_{\text{ar}}}$	Curvas de uniformidade dos eixos XYZ
Resolução espacial	Pelo menor grupo de padrão de barras definido.	Pelo menor grupo de padrão de barras definido.	Frequência em 10% da função de transferência de modulação (MTF)
Espessura de corte	Medida da projeção axial da rampa	-	-
Distorção Geométrica	Medidas de objetos com mesmo tamanho na horizontal e na vertical	-	Comparação dos valores medidos com o tamanho dos objetos reais
Baixo Contraste	Visualização de objetos de baixo contraste	Pela relação contraste ruído (CNR).	Pela relação contraste ruído (CNR). Cálculo do produto kerma área (PKA); Incidência kerma ar no detector e Medidas de CTDI
Dose	Medidas de CTDI _{air-free} em protocolos clínicos	Análise do CTDI _{vol} em protocolos clínicos	

Fonte: adaptado de Colombo P, et al., 2010, Nachabe, R, et al., 2019 e EFOMP-ESTRO-IAEA, 2019.

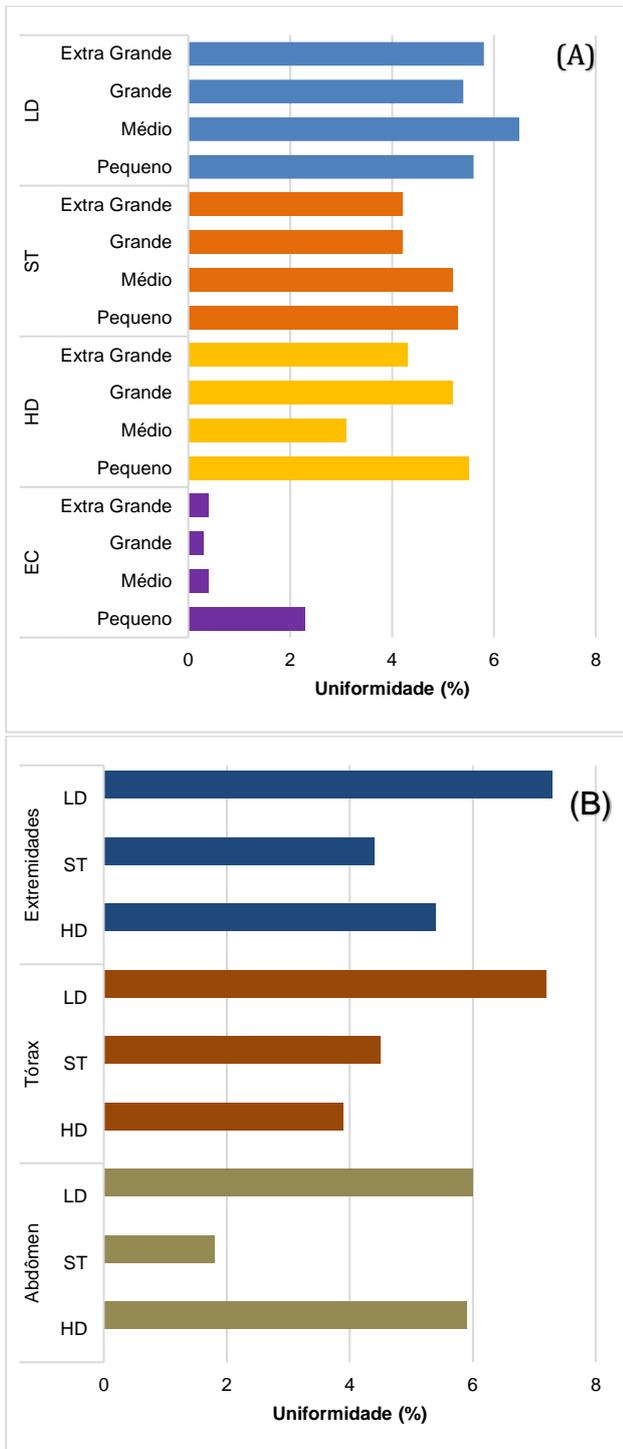


Figura 4. Valores de uniformidade para (A) diferentes modos de exposição e biotipos no protocolo de cabeça (B) diferentes exames e modos de exposição com biotipo médio

Precisão Geométrica e Espessura de Corte: Os cortes são reconstruídos com uma espessura nominal de 0,83 mm, produzindo um total de 192 imagens. A avaliação da precisão geométrica axial não apresentou distorção nas distâncias axiais. A avaliação da espessura de corte demonstrou concordância com o padrão de desempenho normalmente empregado em TC (50% do valor nominal: 0,41 mm), tendo sido observadas diferenças entre 0,2-0,3 mm para todos os modos de exposição e exames, a exceção dos modos de exposição de baixa dose (LD). As diferenças (desvios) da espessura de corte para protocolos de

baixa dose pode ser atribuídas ao alto nível de ruído presente nas imagens, dificultando a determinação da largura à meia altura empregada na avaliação da espessura desse modo de exposição.

Densidade de voxels: A escala de contraste em unidades de HU do equipamento O-Arm™ O2 não apresenta conformidade com os valores nominais esperados para um equipamento de TC convencional: HU = -1000 para ar, HU ≅ 1000 para materiais muito densos e HU = 0 para água. O valor da densidade de voxels determinado para cada estrutura varia com a técnica (kV e mAs) utilizada nos protocolos clínicos (Figuras 7 e 8). Portanto, a escala de contraste das estruturas varia com o protocolo empregado na aquisição de cada biotipo. Apesar dos valores medidos diferirem dos valores nominais, os valores de coeficiente de correlação linear (R²) obtidos foram todos maiores que 0,98 demonstrando que o sistema de imagem apresenta linearidade.

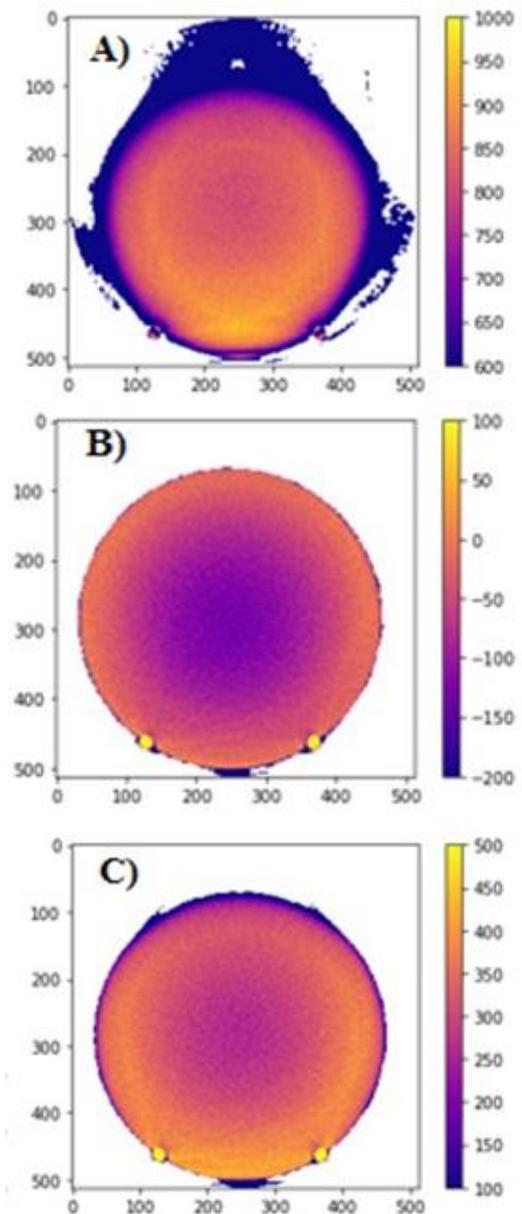


Figura 5. Mapas de uniformidade para o protocolo de crânio, biotipo pequeno nos modos: A) EC, B) HD e C) imagem de tomografia computadorizada convencional de feixe estreito.

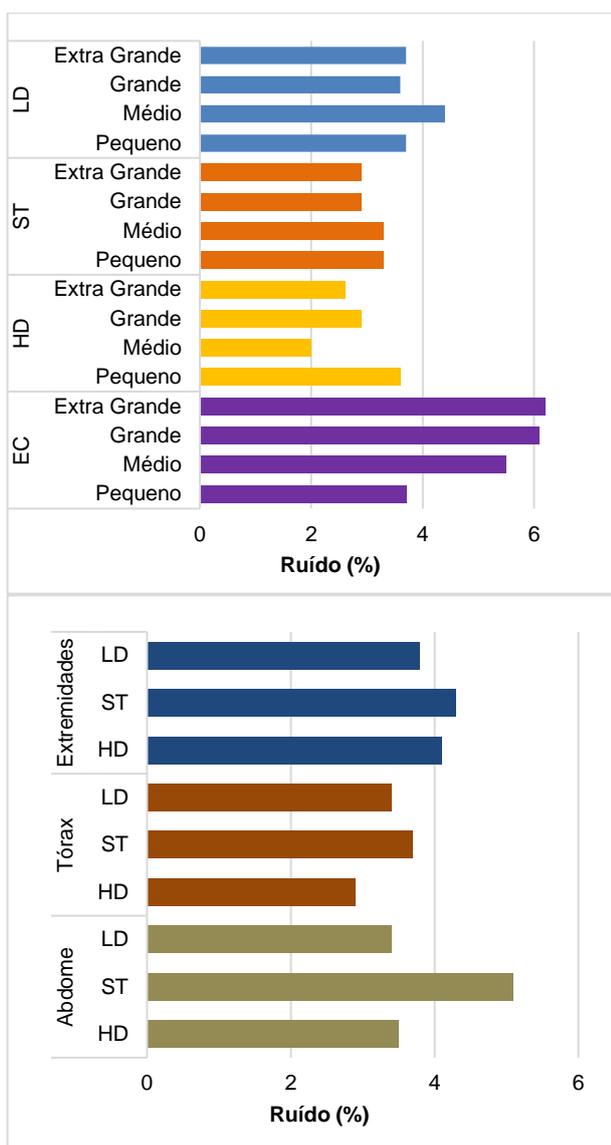


Figura 6. Valores de ruído para (A) diferentes modos de exposição e biotipos no exame de cabeça e (B) diferentes exames e modos de exposição com biotipo médio.

Resolução de baixo contraste: No método tradicional (método qualitativo) foi observado uma qualidade similar em todos os protocolos na resolução de baixo contraste, tendo no máximo a visualização de um objeto de baixo contraste com 10mm de diâmetro e equivalência de 2% de contraste em relação ao fundo. Esse resultado foi obtido no modo de exposição de crânio aprimorado para o protocolo de cabeça, e nos modos alta definição e padrão nos protocolos de abdome e tórax. Nos demais protocolos não foi observado nenhum objeto de baixo contraste.

Como indicado na Figura 8, os resultados obtidos pelo método de cálculo do CNR (método quantitativo) no exame de cabeça variaram de 0,62% a 2,74%. Nos demais exames, utilizando o biótipo médio, os resultados tiveram variações de 0,83% a 1,66%; 1,23% a 2,55% e de 1,67% a 2,42% para os protocolos de abdome, tórax e extremidades, respectivamente. Tanto pelo método qualitativo, quanto pelo método quantitativo, foi demonstrado que o sistema possui uma baixa

capacidade de visualização para objetos de baixo contraste.

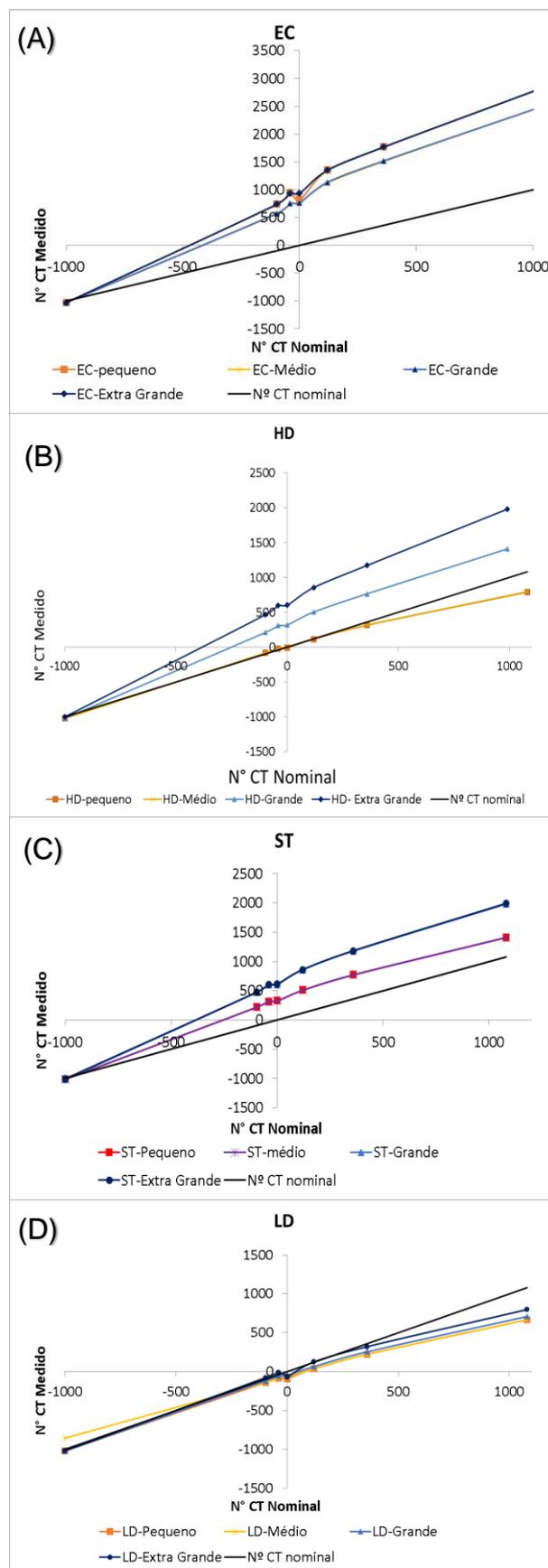


Figura 7. Comportamento de densidade de voxels para os protocolos de crânio, relacionando o número CT medido com o nominal para todos os biótipos. A reta em preto representa a relação esperada, ou seja, valor medido igual ao valor nominal. (A) EC, (B) HD, (C) ST e (D) LD

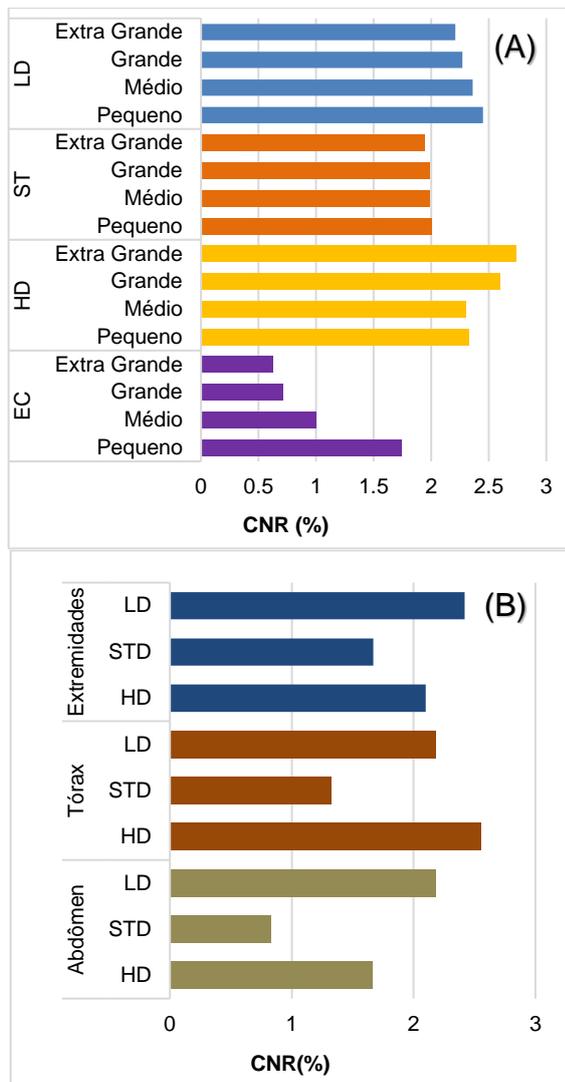


Figura 8. Valores de CNR para: (A) diferentes modos de exposição e biotipos no protocolo de cabeça. (B) diferentes protocolos e modos de exposição com o biotipo médio.

Resolução espacial de alto contraste: os valores de resolução visualizados variaram de 6 pl/cm à 8 pl/cm. Nos protocolos de cabeça e extremidade a resolução foi 7 pl/cm, excetuando o modo de aquisição de baixa dose para cabeça. Nos demais protocolos foi encontrada uma resolução de 8 pl/cm. O resultado obtido está dentro da variação de resolução encontrada em outras publicações (7 pl/cm - 12 pl/cm)^{8,9,10}. Um resultado típico da avaliação quantitativa pelo cálculo da MTF para os valores de MTF 10% e 50% como referência pode ser observado na Figura 9, semelhante ao encontrado para outros protocolos de aquisição.

Exatidão do valor do indicador de dose em CT (CTDI) e valor representativo de dose: Apesar do valor de CTDI subestimar os valores de dose para feixes largos, os desvios do valor nominal em relação aos valores medidos foram todos inferiores à 20%, indicando que o equipamento está calibrado corretamente e que os relatórios fornecidos podem ser usados para rastreamento dos indicadores de dose de radiação praticados nos exames. Não foi determinado o CTDI para o modo de exposição de crânio aprimorado.

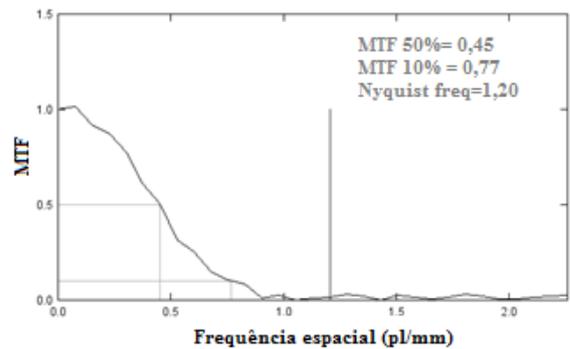


Figura 9. Gráfico de MTF para o biotipo médio, modo de exposição HD no protocolo de cabeça.

Para o protocolo de cabeça os valores encontrados foram significativamente abaixo dos níveis de referência recomendados pela legislação brasileira (70 mGy), excetuando o modo de exposição de crânio aprimorado, que possui CTDI próximos e até maiores que esse nível. Os valores de dose encontrados para abdome estão todos abaixo do seu nível de referência (25 mGy).

Monitoração de área: No entorno do equipamento foi observado uma variação de 35,73 μGy - 54,09 μGy a uma distância de 1 m do isocentro. A medida no ponto do comando foi em torno de 16 vezes menor do que a média nos outros pontos, devido à blindagem do próprio gantry do equipamento (Tabela 4).

Tabela 4. Valores de kerma acumulado por aquisição e suas respectivas posições.

Posição	A	B	C	D	E (comando)
Kerma _{ar} @1m ($\mu\text{Gy}/\text{aquisição}$)	54,1	35,7	48,4	41,4	2,8

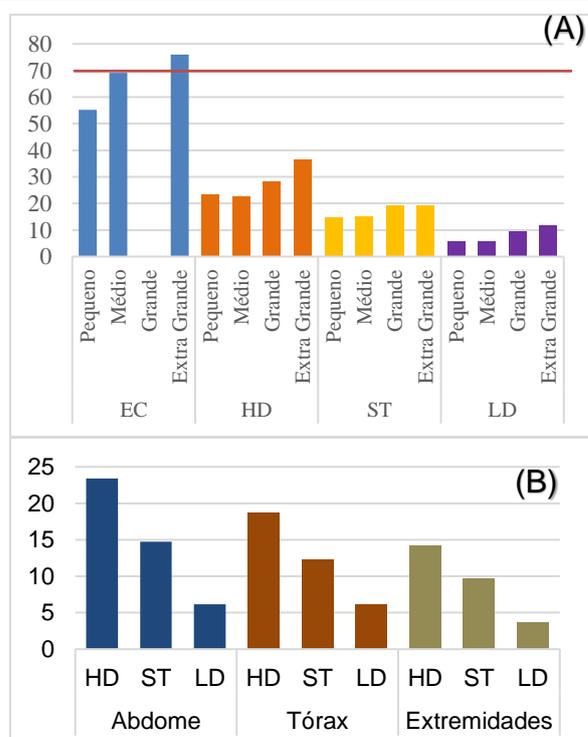


Figura 10. Valores de CTDI para (A) diferentes modos de exposição e biótipos no exame de cabeça e (B) diferentes exames e modos de exposição com o biotipo médio.

De forma geral, foram observadas algumas dificuldades práticas na realização dos testes que

merecem destaque. O adequado posicionamento dos simuladores no centro do *gantry* foi importante para garantir a qualidade dos resultados obtidos. Como o equipamento não possui uma mesa de posicionamento e só dispõe de sistema de alinhamento com laser externo, foi necessário empregar suportes de apoio que não interferissem nas medidas e permitissem o correto posicionamento dos simuladores. Uma imagem planar (de projeção), utilizando o modo de fluoroscopia (2D) do equipamento, foi empregada para verificar o correto alinhamento dos simuladores. O posicionamento do simulador é especialmente importante nas medidas de avaliação de CTDI para garantir que todo simulador e câmara de ionização estejam dentro do campo de radiação. O aquecimento do tubo foi um fator limitante para aquisição dos dados, sendo necessário acompanhar os indicadores de aquecimento ao longo das irradiações e realizar pausas entre as aquisições para evitar superaquecimento.

4. Conclusões

Neste trabalho foram realizados testes para avaliação dosimétrica e de qualidade de imagem de um equipamento de tomografia computadorizada de feixe cônico O-Arm, contribuindo para a definição de quais testes e metodologias devem ser empregados rotineiramente nos programas de controle de qualidade. Fica evidente que os padrões de desempenho para TC convencional (feixe estreito) não devem ser empregados em equipamentos CBCT, ressaltando a contribuição deste estudo para complementar a literatura de referência no Brasil.

Os resultados apontam para um equipamento com alta resolução espacial (6-8 pl/cm) em estruturas de alto contraste e velocidade de reconstrução apropriada para procedimentos cirúrgicos de estruturas. No entanto, o equipamento apresentou pouca uniformidade e baixa resolução de contraste, não apresentando melhora significativa ao ajustar o biótipo do paciente para todos os modos de exposição, excetuando o HD.

O equipamento apresentou linearidade nas escalas de densidade de *voxels*, mas com diferentes coeficientes lineares para cada combinação de biótipo do paciente, modo de exposição e protocolo, fazendo com que, diferentemente da TC convencional, o contraste apresentado para estruturas de mesmo material possua dependência com o espectro de radiação.

Os modos EC em exames de crânio apresentaram uma dose acima dos níveis de referência de diagnóstico para o biótipo XG, não apresentando ganho significativo de qualidade de imagem (baixo contraste - CNR) quando comparado aos outros modos. Recomenda-se que o uso deste protocolo seja justificado clinicamente.

Os níveis de radiação no entorno do equipamento reforçam a exigência que todos os membros da equipe clínica participante dos procedimentos estejam devidamente paramentados com vestimentas e óculos de proteção adequados.

Agradecimentos

Aos Ministérios da Educação e da Saúde pelo financiamento das bolsas de residência do Programa de Residência em Física Médica da Universidade Federal de São Paulo.

Referências

1. Kenny E, Caldwell D, Lewis M. Practical radiation dosimetry across a variety of CBCT devices in Radiology. *Phys Medica*. 2020;71:3–6.
2. Copyright © 2011 Medtronic Navigation. Manual do Utilizador do Sistema de Imagiologia O-Arm®. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/scriptsweb/Tecnovigilancia/Listalnst rucoes.asp?ID=44869&Versao=3>. Acesso em: 17 de nov. 2020.
3. EFOMP-ESTRO-IAEA. Quality control in cone-beam computed tomography (CBCT) EFOMP-ESTRO-IAEA protocol. 2019;(May).
4. Alonso Díaz M, Torres Cabrera R.. Protocolo español de control de calidad en Radiodiagnóstico. Revisión 2 [Internet]. Sefm-Sep. 2011. 326 p. Available at: https://www.seram.es/images/site/protocolo_2011.pdf
5. IAEA REPORT-5. Status of Computed Tomography Dosimetry for Wide Cone Beam Scanners. *laea*. 2011. 1–55 p.
6. de Las Heras Gala H, Torresin A, Dasu A, Rampado O, Delis H, Girón IH, Theodorakou C, Andersson J, Holroyd J, Nilsson M, Edyvean S. Quality control in cone-beam computed tomography (CBCT) EFOMP-ESTRO-IAEA protocol (summary report). *Physica Medica*. 2017 Jul 1;39:67-72.
7. Colombo P, Moscato A, Pierelli A, Cardinale F, Torresin A. Medtronic O-ARM: Image Quality and Radiation Dose Assessment in 3D Imaging. In: 2nd Meeting of Intra-Operative Imaging Society. 2009. p. 31–2.
8. Nachabe R, Strauss K, Schueler B, Bydon M. Radiation dose and image quality comparison during spine surgery with two different, intraoperative 3D imaging navigation systems. *J Appl Clin Med Phys*. 2019;20(2):136–45.
9. Zhang J. The Cone Beam O-arm imaging system: radiation dose, image quality, and clinical applications. *Recent Patents on Medical Imaging*. 2013;3(2):103-10,
10. DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO. Resolução - RDC Nº 330, de 20 de dezembro de 2019. Diário Of da União [Internet]. 2019;92. Available at: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-rdc-n-330-de-20-de-dezembro-de-2019-235414748?inheritRedirect=true>

Contato:

Thiago Souza Dias

Programa de Residência em Área Profissional de Física Médica da Universidade Federal de São Paulo

Rua Pedro de Toledo, 725 - Vila Clementino, São Paulo – SP

E-mail: thisouzadiaz36@gmail.com