

Tomografia Computadorizada

Walmor Cardoso Godoi, M.Sc.

<http://www.walmorgodoi.com>

Aula 05: Dose em Tomografia

Topogram : 140 kV / 111 mA

140 kV / 171 mA/slice: 3 mm

Tilt: 16°

Agenda

- Introdução
- Dose absorvida, dose equivalente, e dose efetiva
- Definição das Medidas de Dose em TC
- Avanços para Redução da Dose em TC

Introdução

- Desde a introdução da tomografia computadorizada (TC) na prática clínica, tem ocorrido grande aumento no número de exames realizados, acarretando um aumento significativo na dose de radiação recebida pela população. Além disso, a dose absorvida por crianças é maior do que em pacientes adultos.

- A escolha do mAs também determina a quantidade de ruído na imagem e o aquecimento no tubo de raios X.
- Estudos mostraram que o mAs utilizado pode ser reduzido consideravelmente sem prejudicar o diagnóstico, principalmente para exames de tórax e em crianças.
- A redução no aquecimento do tubo de raios X ocasiona um menor desgaste, fazendo com que mais exames possam ser realizados com a mesma ampola.

Introdução

- Os ganhos no diagnóstico por imagens acompanhada do advento da Tomografia Computadorizada (TC) são considerados excepcionais.
- Esta é uma das razões do porque a dose aplicada nos exames não foi levada em consideração como de vital importância durante o estágio de desenvolvimento da tomografia.

Introdução

- Considerando novas gerações de tomógrafos, tais como o TC multislice, a dose aplicada têm a tendência de não reduzir. De fato, é como se a quantidade de dose aplicada durante uma única imagem aumentasse junto ao desenvolvimento dos equipamentos.
- Os desenvolvimentos recentes, tais como **controle de exposição automática**, levam em conta o problema da dose. Com esta tecnologia, pode-se facilmente ajustar a quantidade de dose de acordo com a anatomia do paciente, ou mesmo levar em conta se o indivíduo em exame é um adulto ou uma criança.

Dose absorvida, dose equivalente, e dose efetiva

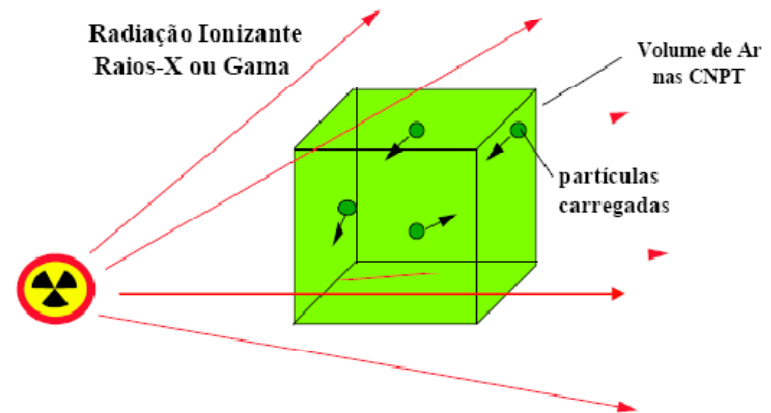
- **Energia das Radiações Emitidas:**
- A energia dos Raios X ou gama, emitidos por um aparelho ou um elemento radioativo, são características que definem a qualidade do feixe de radiação. A maior ou menor energia das radiações proporcionam um maior ou menor poder de penetração nos materiais e seus efeitos ao interagir com a matéria.
- A unidade mais usada para medir a energia das radiações é o elétron-volt (eV). Um elétronvolt representa a energia gerada por um elétron ao ser acelerado por uma diferença de potencial de 1 volt. Assim sendo, $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$.

quiloelétron-volt = $1 \text{ keV} = 1.000 \text{ eV}$

megaelétron-volt = $1 \text{ MeV} = 1.000.000 \text{ eV}$

Dose absorvida, dose equivalente, e dose efetiva

- **Exposição (X):**
- A exposição à radiação é determinada pela razão entre o número de cargas elétricas de mesmo sinal produzidos no ar, pela unidade de massa de ar igual a 1 kg.
- Assim a unidade de medida de Exposição será **C/kg**. A exposição radiológica está associada aos efeitos das radiações sobre os seres vivos.



A unidade antiga de exposição era o Roentgen * (R), usada para radiação X ou Gama , no ar , e valia:
 $1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C/kg.}$

Dose absorvida, dose equivalente, e dose efetiva

- **Taxa de Exposição:**
- É a razão entre **exposição radiológica pela unidade de tempo**. É freqüentemente usada para medir campos de radiação no ambiente de uma instalação radioativa no intuito de prevenção e controle da exposição, e portanto sua unidade será: **C/ kg . h**

A unidade antiga de taxa de exposição era o R/h , usada para radiação X ou Gama no ar , e valia:

$$1\text{R/h} = 258 \mu\text{C/kg.h}$$

Dose absorvida, dose equivalente, e dose efetiva

- **Dose Absorvida:**
- A Dose de radiação eletromagnética é definida como sendo a energia absorvida por unidade de massa. Assim , a unidade de medida será ergs / g ou Joule / kg. Na unidade usual a dose absorvida é o Gray (Gy) .

$$1 \text{ J / kg} = 1 \text{ Gray (Gy)}$$

Nas unidades antigas a dose era medida em rads , que valia:

$$1 \text{ rad} = 100 \text{ ergs/g} \text{ ou seja } 1 \text{ Gy} = 100 \text{ rads}$$

Dose absorvida, dose equivalente, e dose efetiva

- A título de exemplo, para uma massa de 1 g de água , exposta a $2,58 \times 10^{-4}$ C/kg (1 R) de radiação X ou Gama , a dose absorvida será de aproximadamente 9,3 mGy (0,93 rads).

Dose absorvida, dose equivalente, e dose efetiva

- **Dose Equivalente:**
- Dose equivalente “H” é a dose absorvida modificada pelos fatores de ponderação “D” que é a dose aplicada ao órgão com respeito ao tipo de radiação e “Q” é um fator de peso que depende do tipo de radiação aplicada que pode variar de 1 a 20 e é denominado Fator de Qualidade, que para Raios-X e Gama é igual a 1. Assim, **$H = D \times Q$**
- No sistema atual , a unidade de dose equivalente é o Sievert (Sv) = 1 Joule / kg.

Nas unidades antigas a dose equivalente era medida em Rem *
e valia: 1 Rem* = 100 ergs/g ou seja 1 Sv = 100 Rem .

Dose absorvida, dose equivalente, e dose efetiva

Fatores de Ponderação “Q”

| <u>Radiação Interna ou Externa</u> | <u>Fator Q</u> |
|--|----------------|
| Para Raios X , Gama e elétrons | 1 |
| Neutrons, Prótons, partículas de resto de massa maior que uma unidade de massa atômica de energia desconhecida | 10 |
| Partículas α e múltiplas partículas carregadas com energia desconhecida | 20 |

Fonte: Recommendation of the ICRP Publication Nr. 26 - Jan./77

Dose absorvida, dose equivalente, e dose efetiva

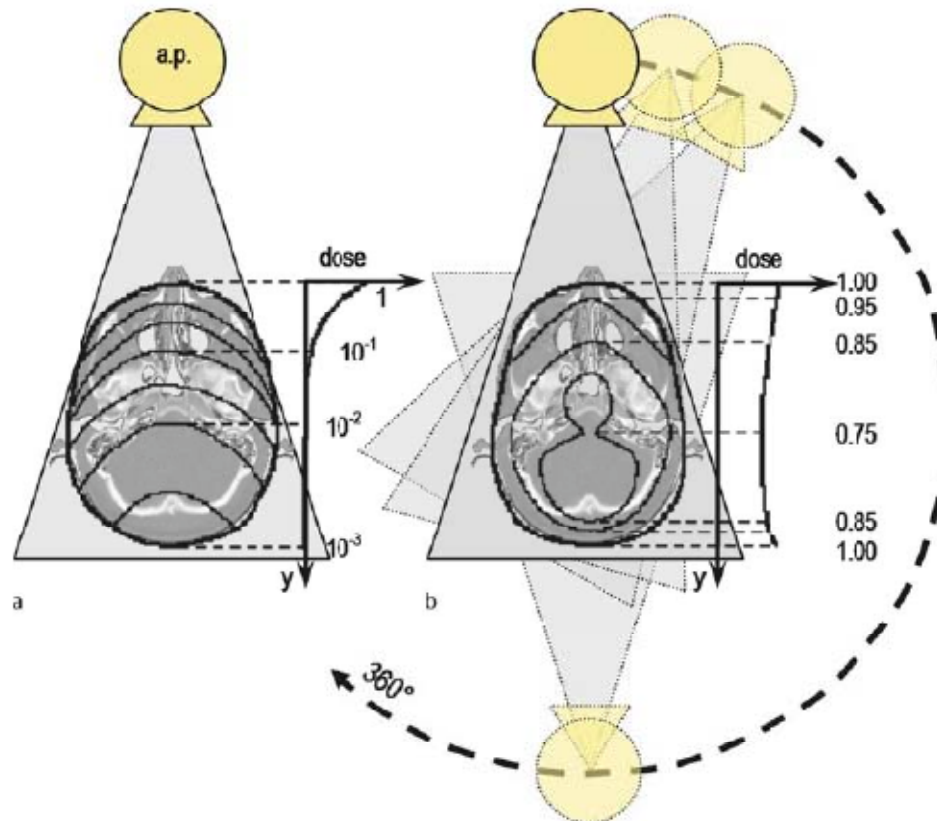
- **Dose Efetiva:**
- Para levar em conta a radiosensibilidade de diferentes órgãos e tecidos, um fator de peso N , é introduzido na equação da dose equivalente , resultante na chamada dose efetiva E.

$$E = D \times Q \times N$$

- Alguns exemplos para o valor de N: pulmão (0.12), pele (0.01), superfície do osso (0.01), estômago (0.12).

Definição das Medidas de Dose em TC

- A distribuição espacial da dose em TC fundamentalmente difere da observada em radiografia convencional.



Definição das Medidas de Dose em TC

- CTDI – área do perfil da dose

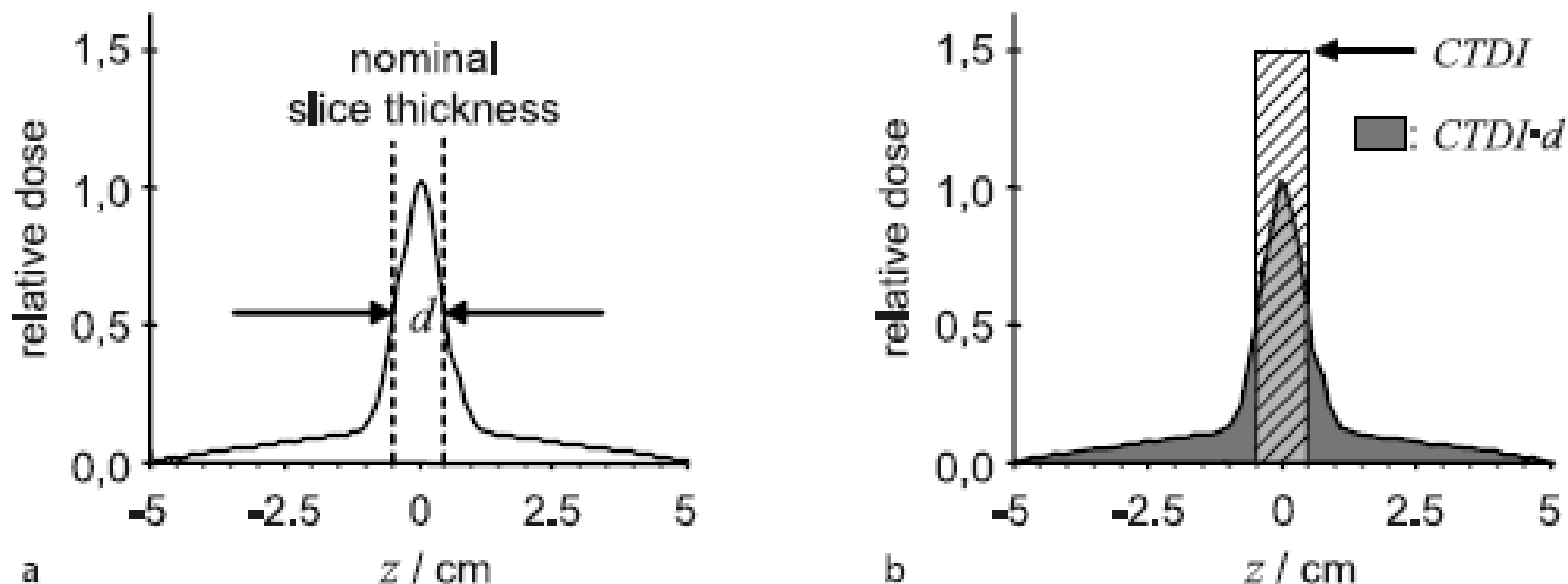


Fig. 11.2. a Illustration of a single-slice dose profile for a nominal slice thickness of $d = 10$ mm. b The *Computed Tomography Dose Index* (CTDI) is obtained via the area of dose profile for a certain slice thickness d

Definição das Medidas de Dose em TC

- CTDI representa uma dose equivalente dentro da fatia nominal com o perfil de um perfil retangular que representa a quantidade de radiação.
- Como em aplicações em TC uma série de fatias adjacentes é adquirida, é levado em consideração que a dose de uma única fatia aumenta devido a contribuição das fatias vizinhas. Isto é expresso pela MSAD (Multiple Scan Average Dose)
 - $MSAD = CTDI / pitch$

Definição das Medidas de Dose em TC

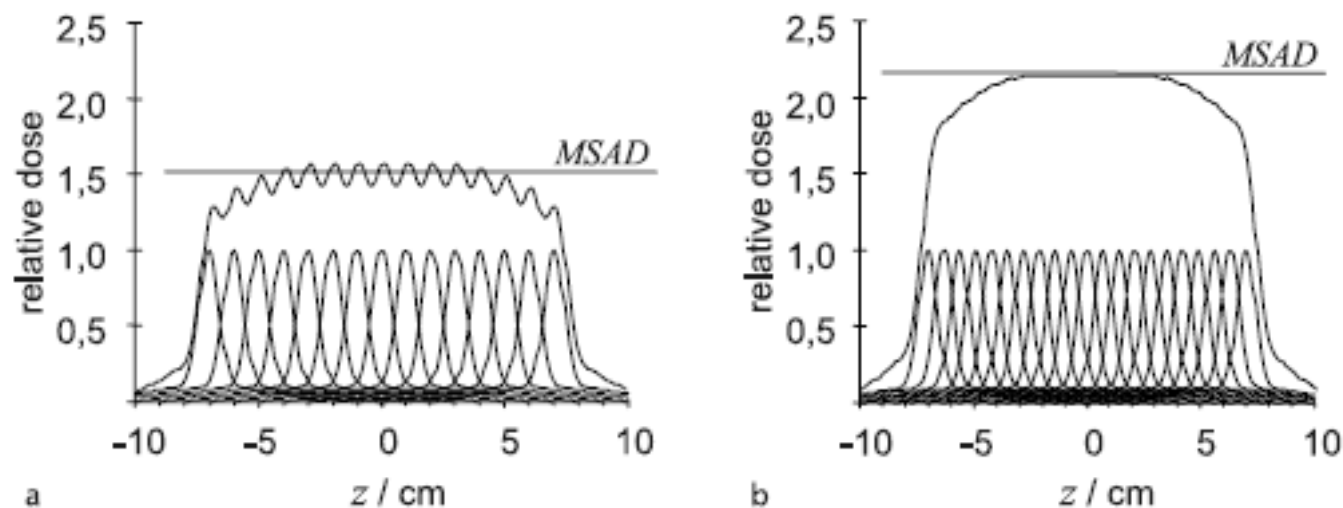


Fig. 11.3. Dose profile of multiple slice scan series with slice thickness of 10 mm. **a** Series of 15 slices with 10-mm table feed (pitch = 1), **b** series of 21 slices with 7-mm table feed (pitch = 0.7). Definition of *MSAD* = *Multiple Scan Average Dose* (courtesy of Nagel [2002])

Definição das Medidas de Dose em TC

- Ocasionalmente, valores de CTDI encontrados em datasheets de equipamentos de TC são dados em termos de corrente-tempo.
- Assim, $Q = I \times t$ (em mAs), tem-se

$$CTDI_{xyz} = CTDI_{xyz} / Q$$

Definição das Medidas de Dose em TC

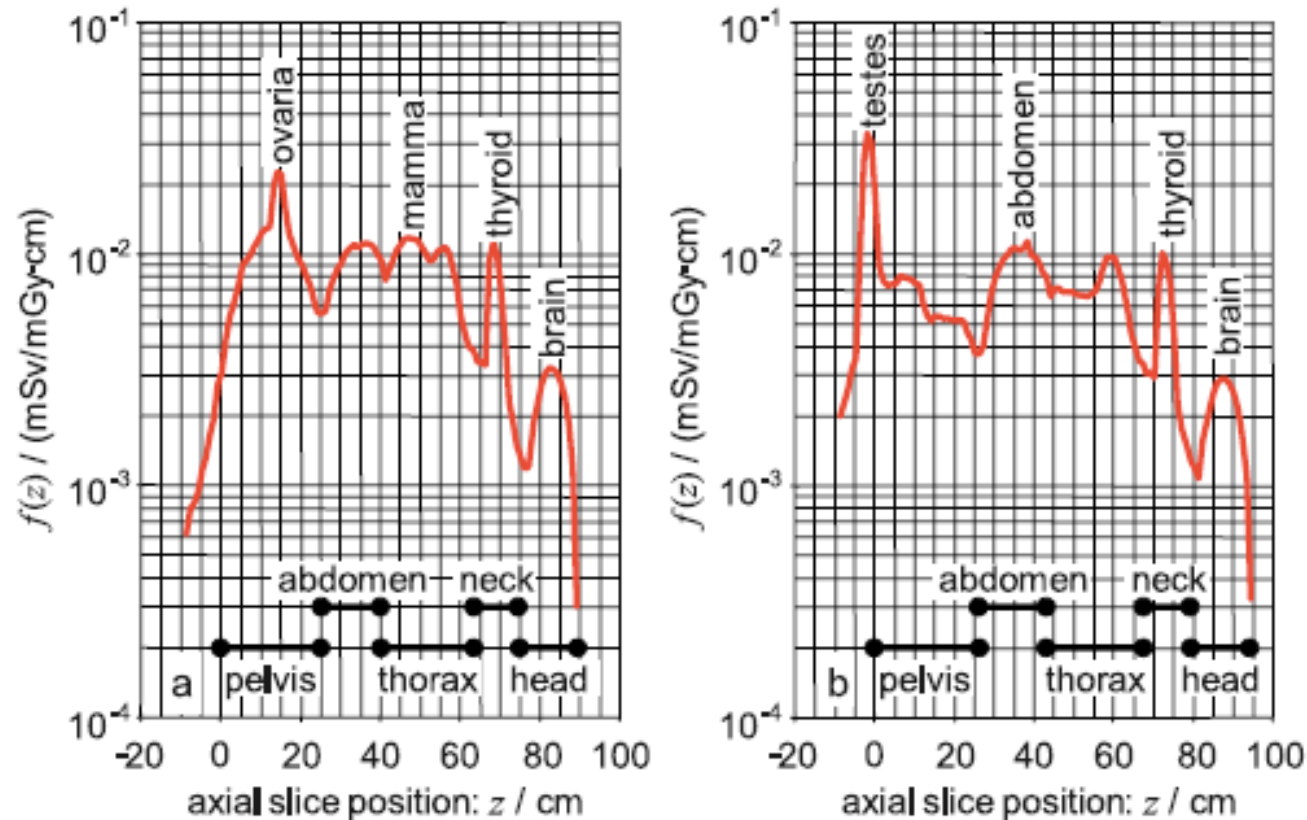


Fig. 11.4. Conversion factor f per cm slice thickness from $CTDI_{\text{air}}$ to an effective dose for normal weight adults: a female, b male. Tube voltage: $U_{\text{ref}} = 125$ kV; 9-mm Al filter equivalent (courtesy of Nagel [2002])

Equipamento de Medidas para Redução da Dose

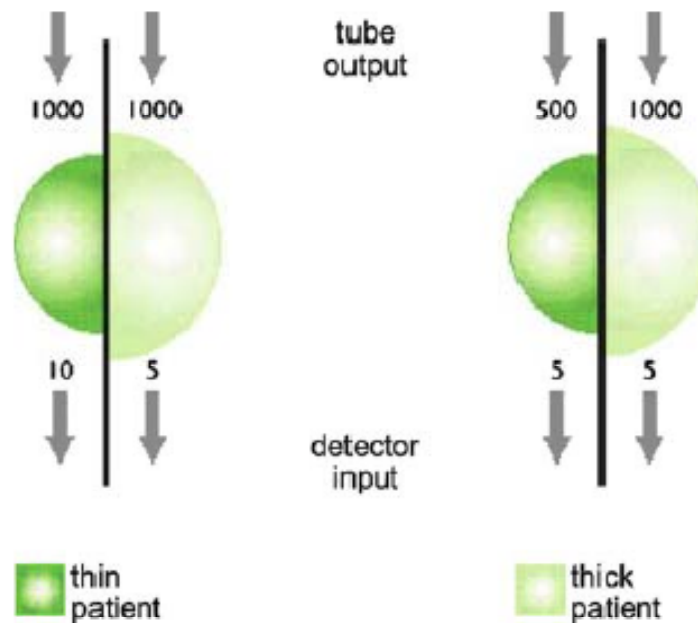


Fig. 11.5. Automatic exposure control (AEC) differentiates between heavier and thinner patients (courtesy of Nagel [2002])

Equipamento de Medidas para Redução da Dose

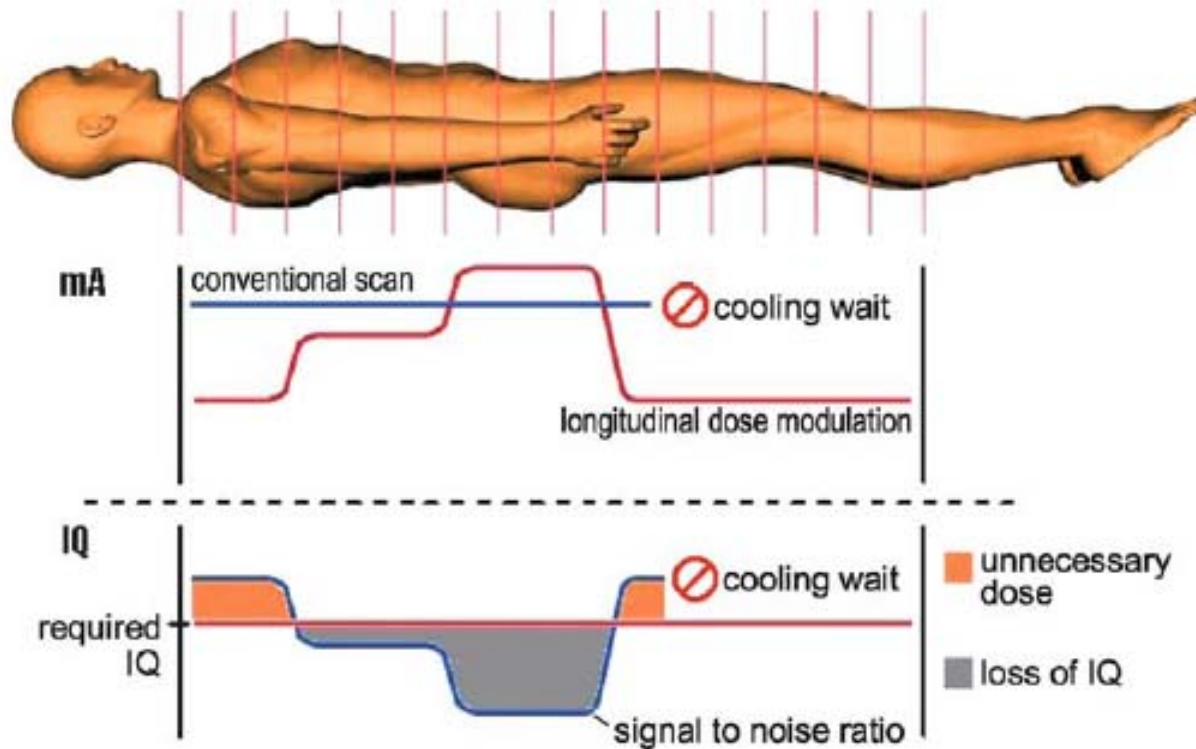


Fig. 11.6. The longitudinal dose modulation is a dynamic adaptation of the tube current or dose to the anatomical situation. In axial locations with low attenuation of X-ray intensity, such as the lung, the tube current can be reduced without loss of image quality. The conventional scan protocol, i.e., constant tube current along the axial scan direction, leads to an unnecessarily high dose or unacceptably high noise level (courtesy of General Electric Medical Systems)

Equipamento de Medidas para Redução da Dose

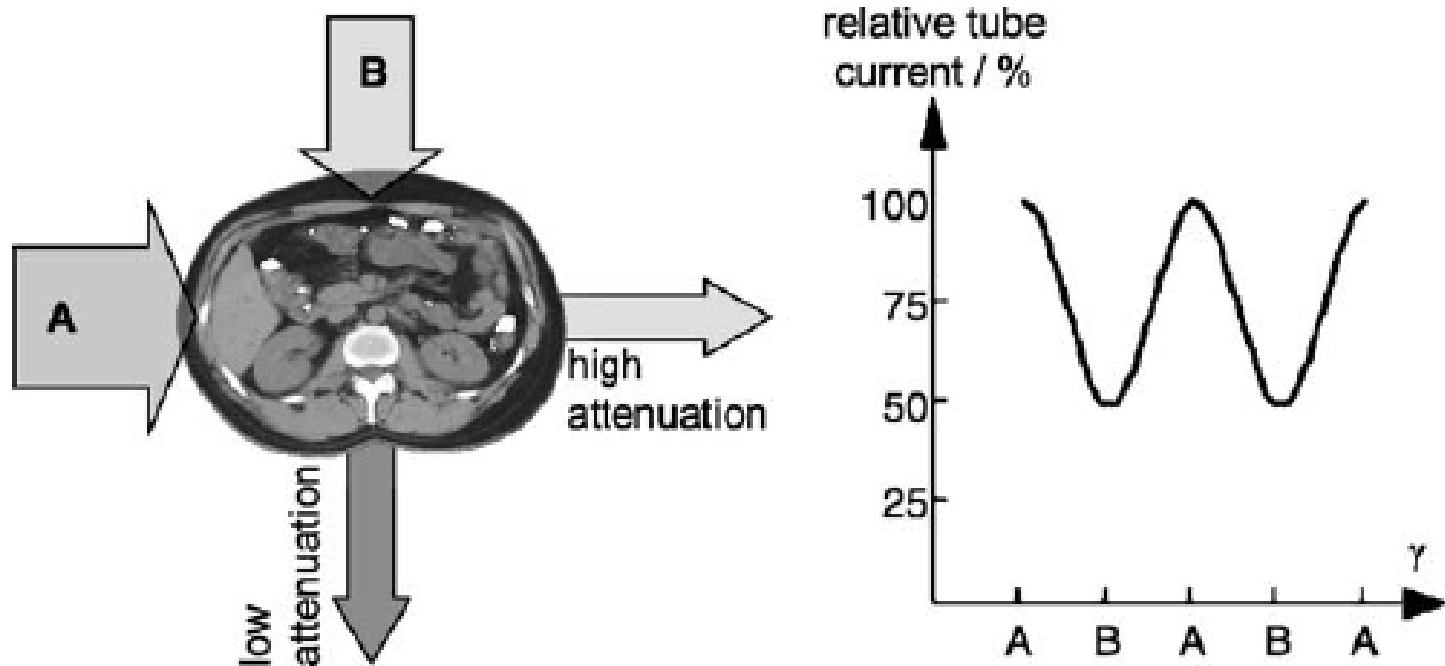
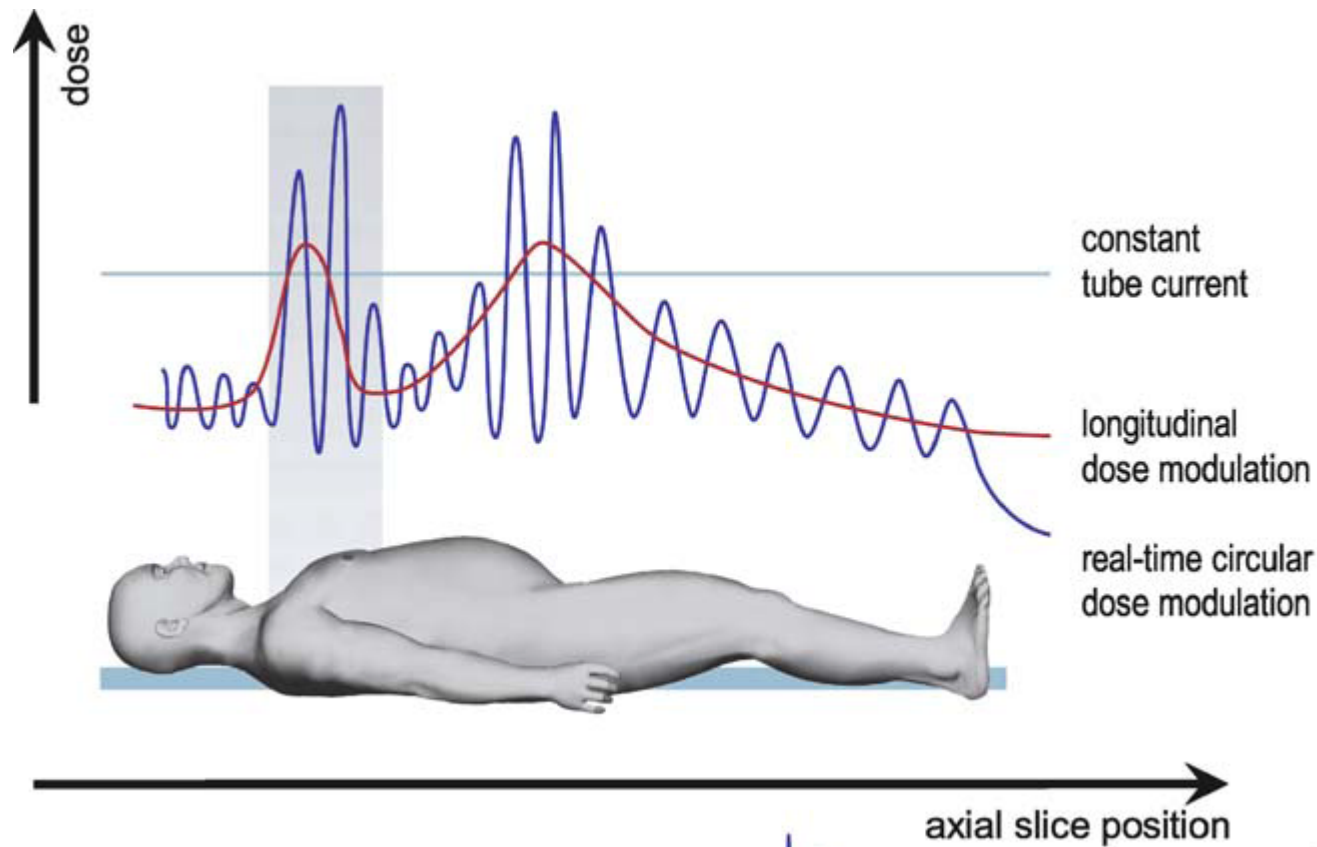


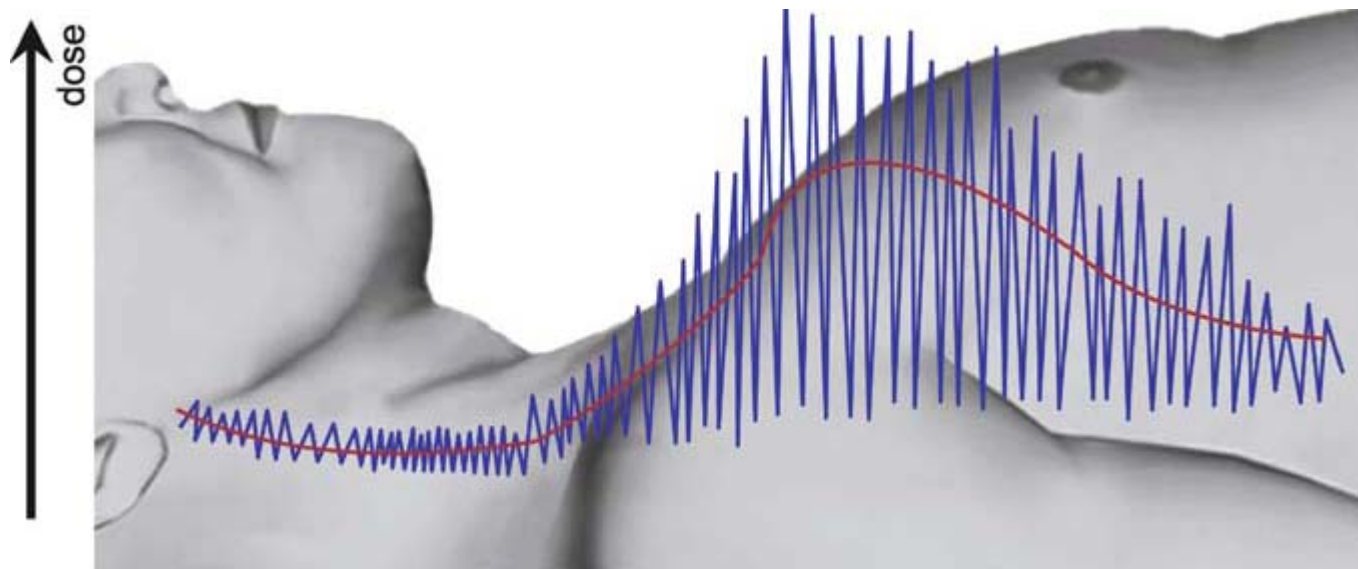
Fig. 11.7. The angular dose modulation is a dynamic adaptation of the tube current or dose to the shape of the axial body section. Especially in neck, thorax or abdomen imaging, the attenuation of X-ray intensity in the anterior-posterior direction is lower than the attenuation in the lateral direction. With an angular modulation of the tube current the signal level at the detector can be held constant

Modulação da Dose

- Modulação longitudinal e angular



- Modulação longitudinal e angular



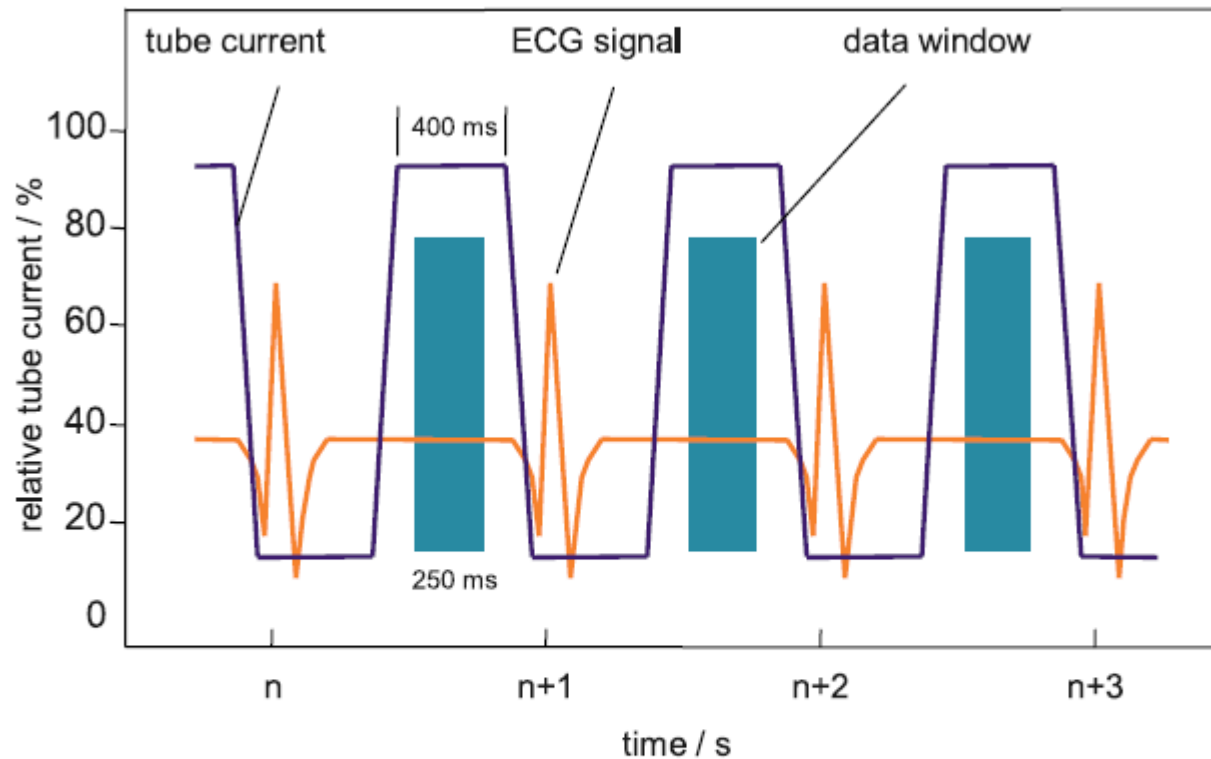
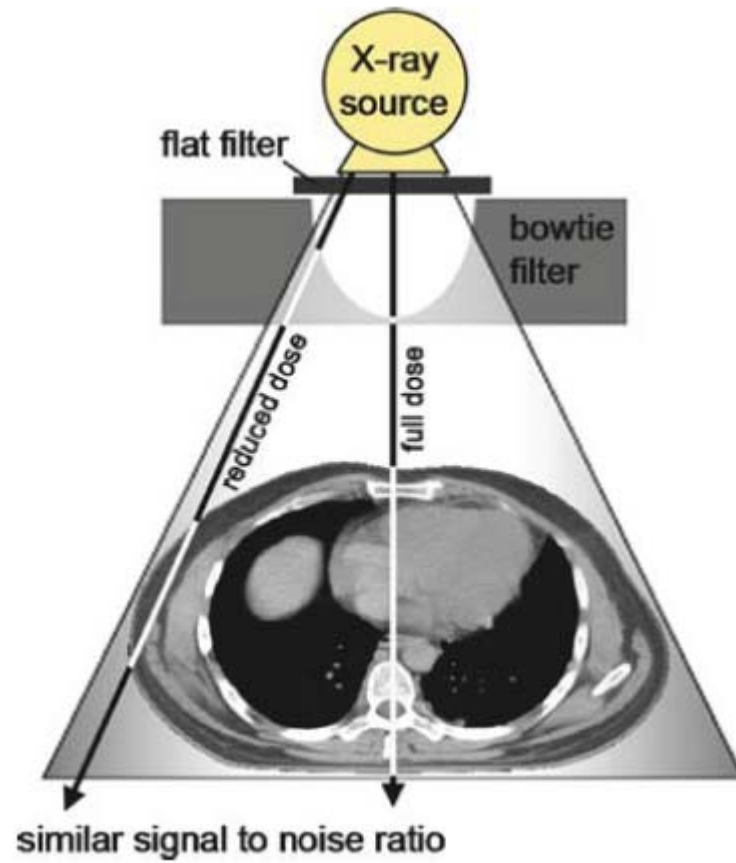


Fig. 11.9. The temporal dose modulation is an ECG triggered switching of either the tube current or the dose. In cardiac imaging, best results are achieved when projection data are acquired in the diastolic phase of the cardiac cycle. The dose can be reduced considerably if the tube is switched off outside the data window (Nagel 2002)



Parâmetros e Dose

- mAs
- kVp
- Espessura (CRIANÇA, ADULTO E OBESOS)
- Tempo de scan

Estudo de caso

REDUÇÃO DE DOSE E AUMENTO NA VIDA ÚTIL DO TUBO DE RAIOS X EM TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA*

*José Augusto Marconato¹, Alessandro A. Mazzola², Paulo César Sanvito³,
Antonio Carlos Pires Carvalho⁴, Márcio Vieveger Vasques¹*

Radiol Bras 2004;37(5):351-356

- **OBJETIVO:** Reduzir a dose de radiação e aumentar a vida útil do tubo de raios X em exames de tomografia computadorizada.
MATERIAIS E MÉTODOS: Foram avaliados exames de crânio, abdome superior e tórax. Foi verificado se a técnica utilizada poderia ser alterada, foram sugeridos novos protocolos, e feitas comparações de qualidade da imagem, dose de radiação e aquecimento do tubo de raios X.

- a) seleção dos exames (um ano)
- b) pesquisa dos parâmetros técnicos utilizados, realizada com o auxílio do "software" eFilm Workstation 1.5.3.
- c) estudo de uma possível alteração no mAs utilizado, com a finalidade de redução de dose no paciente e aumento na vida útil do tubo de raios X;

- d) avaliação em um simulador padrão de qualidade da imagem, quanto ao ruído e resolução de baixo contraste;
- e) aplicação do novo protocolo em apenas uma secção do paciente;
- f) análise da imagem resultante, sem visualização da técnica utilizada, e resposta de um questionário pelos médicos radiologistas responsáveis pela interpretação de cada tipo de exame;

- g) medida comparativa da dose média em múltiplos cortes (MSAD) com os parâmetros técnicos originais e com os protocolos propostos, utilizando-se simuladores de cabeça e corpo recomendados pela American Association of Physicists in Medicine e câmara de ionização em forma de lápis, modelo 10X5-3CT (Radcal Corporation[®]), com comprimento efetivo de 100 mm acoplada a um monitor de radiação modelo 9015 (Radcal Corporation[®])

Resultados

- Uma redução no mAs pôde ser feita sem comprometer a qualidade do diagnóstico
- Redução de até 20% na dose média dos exames de crânio em adultos e de até 45% em crianças com idade de 0 a 6 meses; pacientes com menos de 50 kg tiveram redução de aproximadamente 37% na dose média de radiação para os exames de abdome superior; para o exame de tórax de rotina a redução chegou a 54%. O aquecimento do tubo de raios X para os exames de crânio, abdome superior e tórax teve redução estimada em aproximadamente 13%, 23% e 41%, respectivamente.

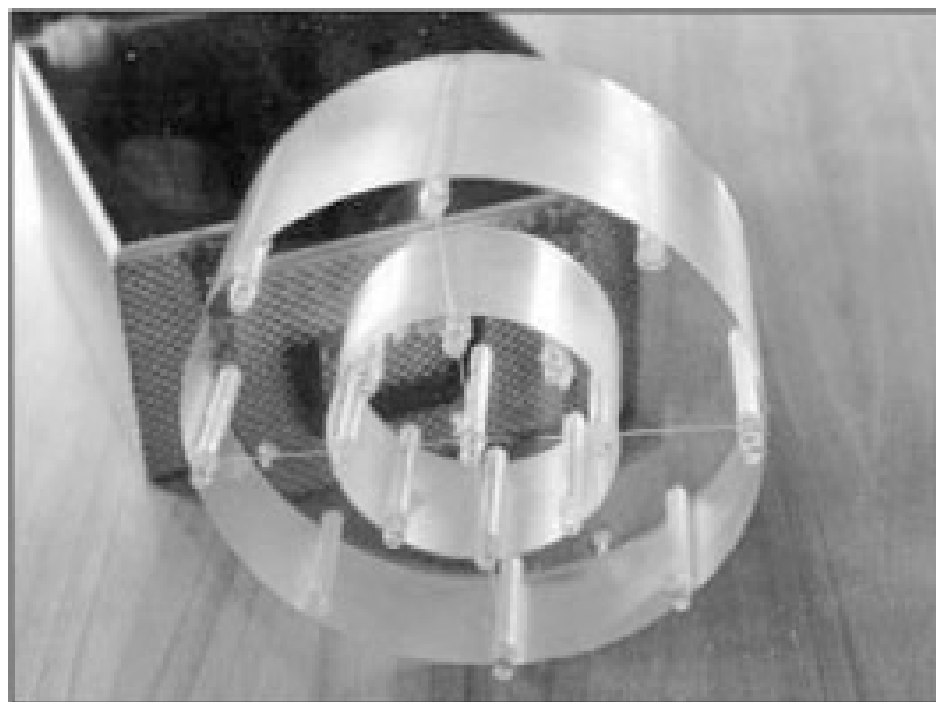


Figura 1. Simulador de acrílico para medida de MSAD em exames de crânio e corpo.



A



B

Figura 2. A: Câmara de ionização em forma de lápis utilizada para medida de dose em TC. **B:** Monitor de radiação.

- h) cálculo comparativo do aquecimento do tubo de raios X, em unidades de calor (HU), com os dois protocolos. O cálculo foi realizado utilizando-se a equação:

$$HU = kV . mA . t . n$$

Resultados

Tabela 1 Tipo, quantidade e porcentual dos exames selecionados em relação ao total realizado em 2001.

| Tipo de exame | Nº de exames | % Total |
|--------------------|--------------|---------|
| TC crânio | 1.593 | 20,6% |
| TC abdome superior | 1.579 | 20,4% |
| TC tórax | 1.312 | 16,9% |

Figura 3. Relação entre o mAs e a idade do paciente em exames de crânio.

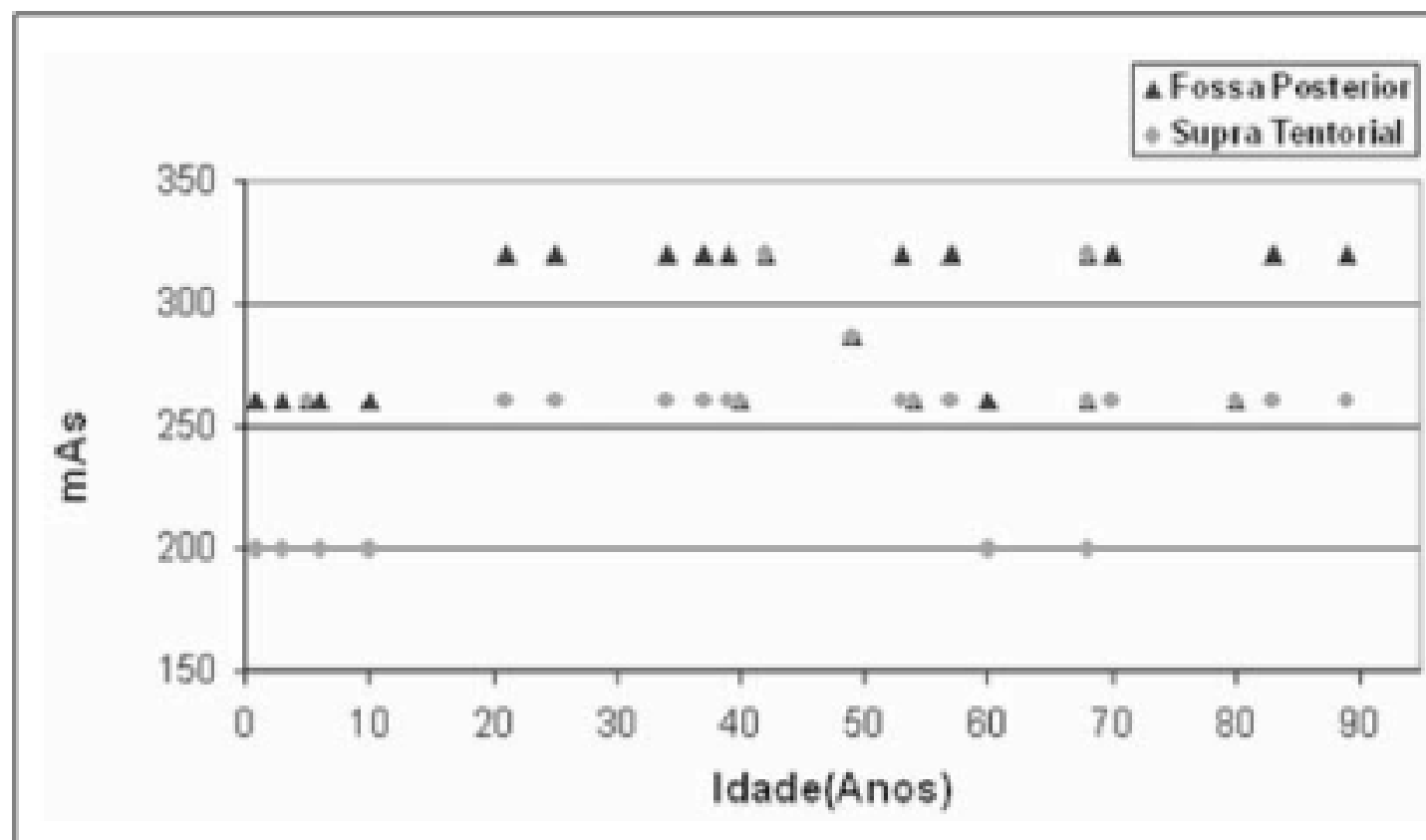
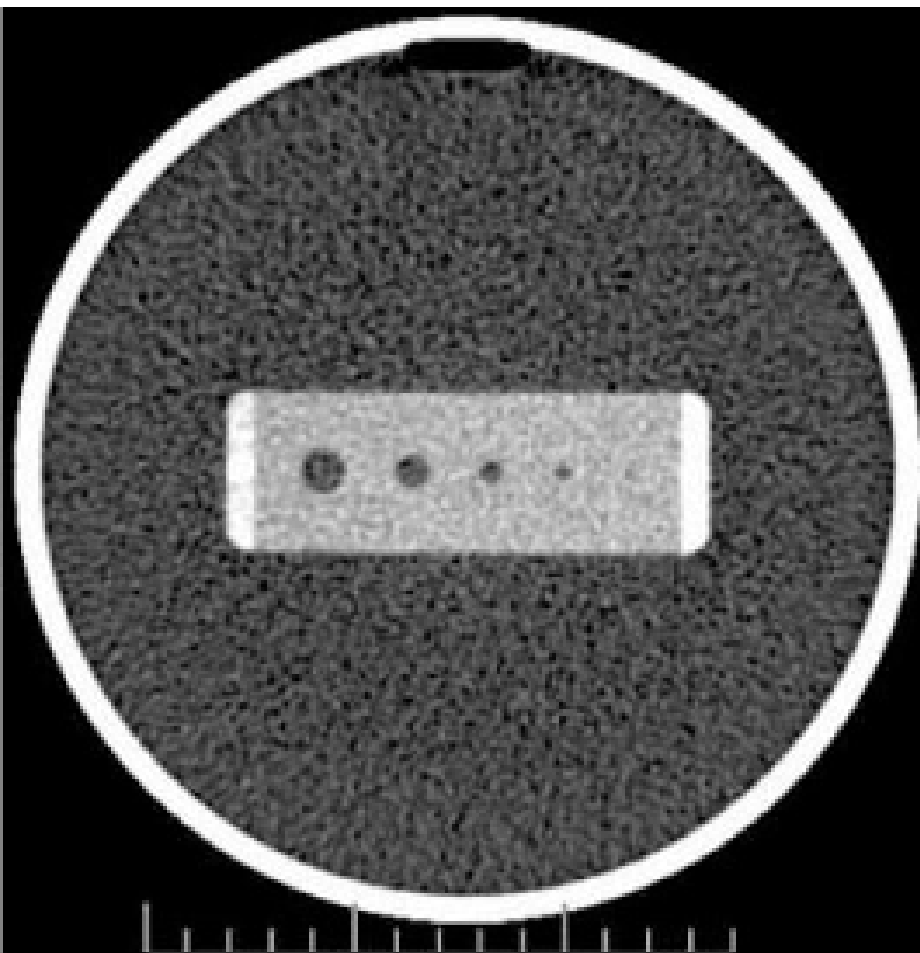


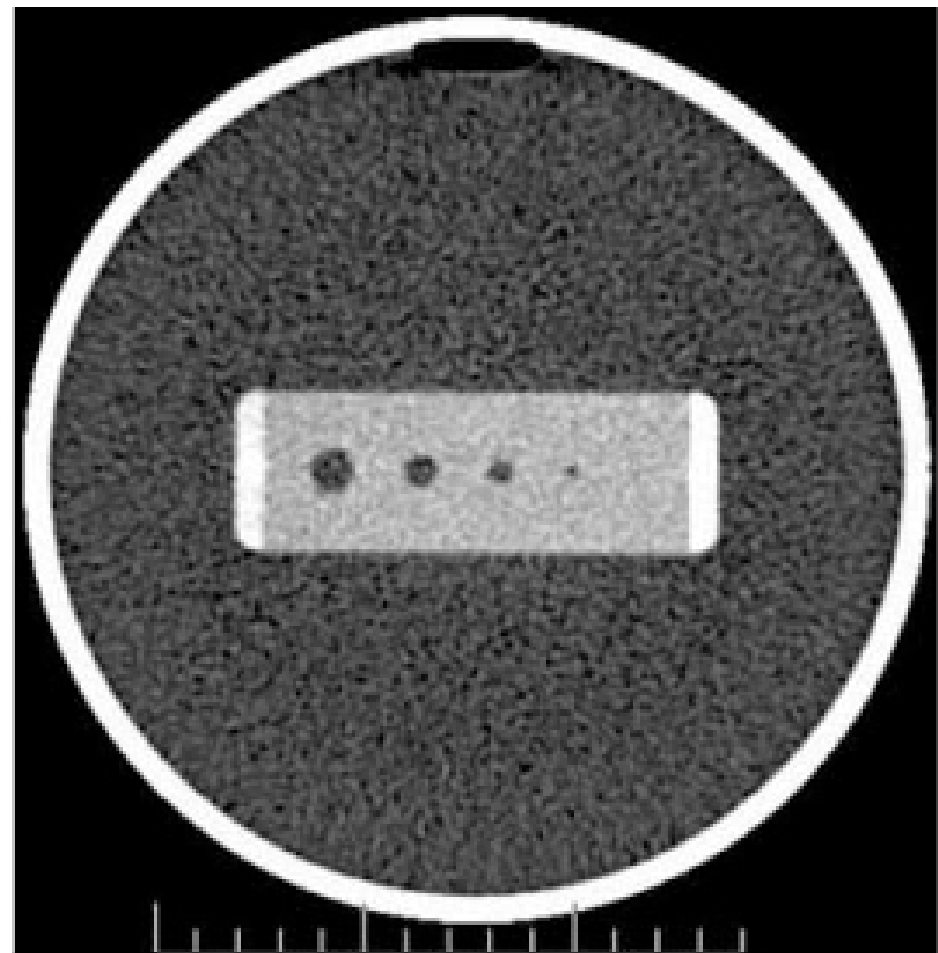
Tabela 2 Medidas de ruído e número de orifícios de baixo contraste visualizados no simulador padrão.

| mAs | Espessura de corte | Região | Nº de orifícios | Ruído médio |
|-----|--------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| 200 | 5 mm | Supratentorial | 4 | $3,4 \pm 0,3$ |
| 260 | 5 mm | Supratentorial | 4 | $2,9 \pm 0,06$ |
| 260 | 3 mm | Fossa posterior | 4 | $3,5 \pm 0,1$ |
| 320 | 3 mm | Fossa posterior | 4 | $4,0 \pm 0,1$ |

Ruído



A



B

Figura 4. Imagens do simulador com 3 mm de espessura de corte. **A:** 260 mAs; **B:** 320 mAs.

Tabela 3 Valores de mAs sugeridos para exames de crânio em crianças conforme a faixa etária.

| Pacientes | Região | mAs |
|---------------|-----------------|-----|
| 5–10 anos | Fossa posterior | 240 |
| | Supratentorial | 195 |
| 3–5 anos | Fossa posterior | 200 |
| | Supratentorial | 195 |
| 1–3 anos | Fossa posterior | 195 |
| | Supratentorial | 160 |
| 6 meses–1 ano | Fossa posterior | 130 |
| | Supratentorial | 120 |
| 0–6 meses | Fossa posterior | 100 |
| | Supratentorial | 90 |

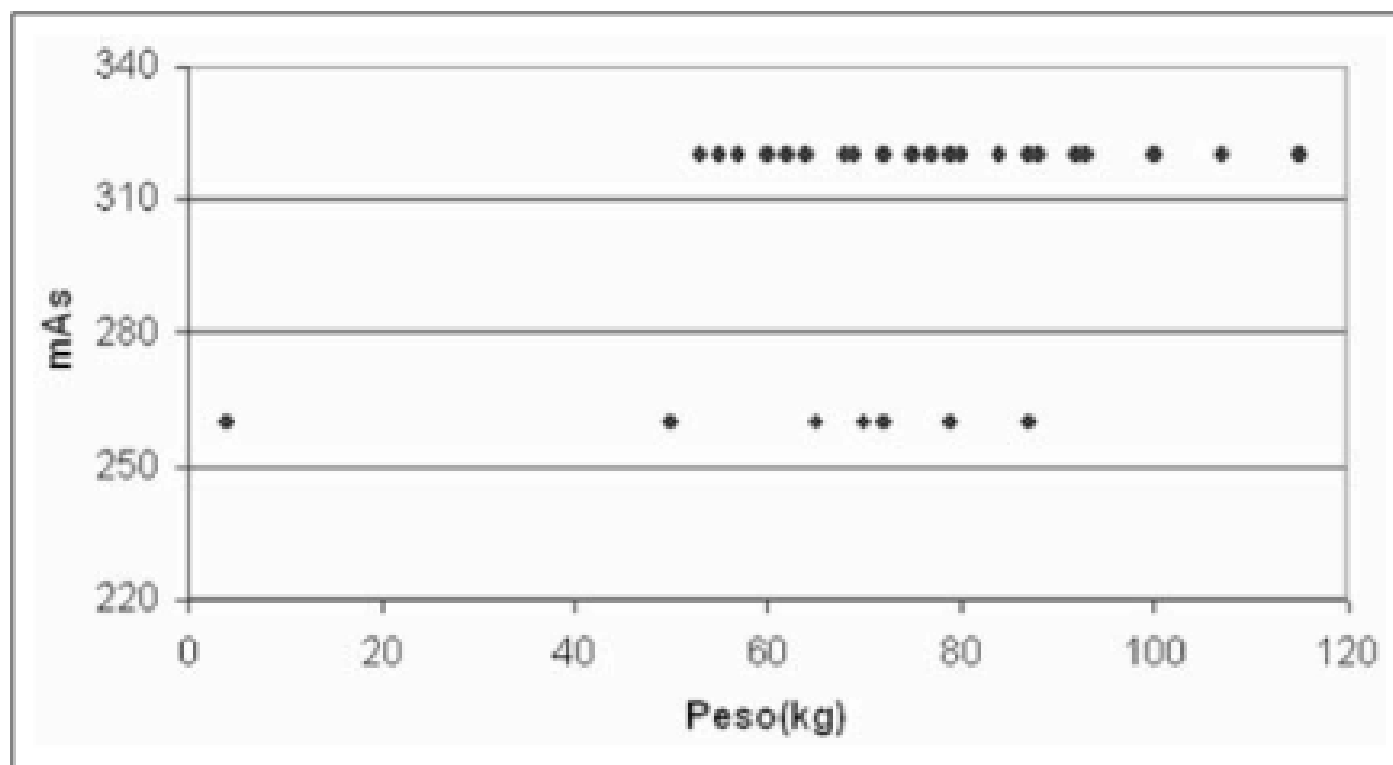
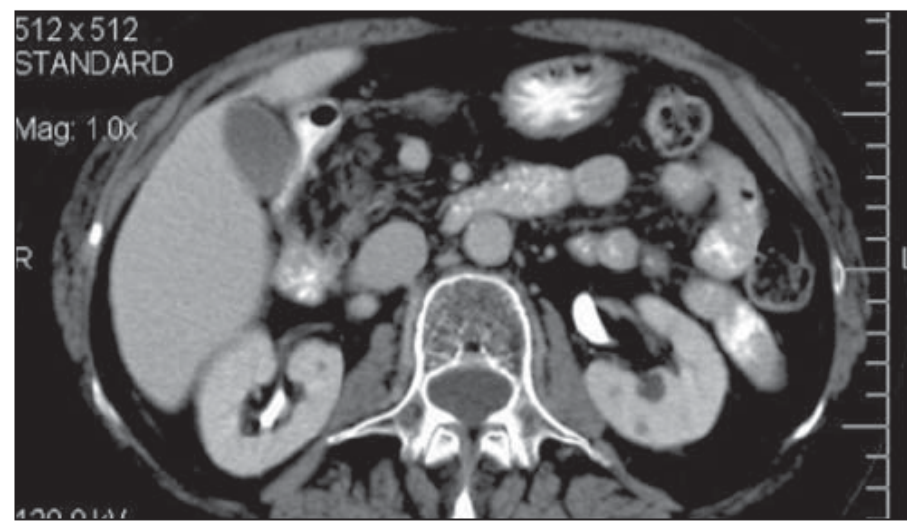
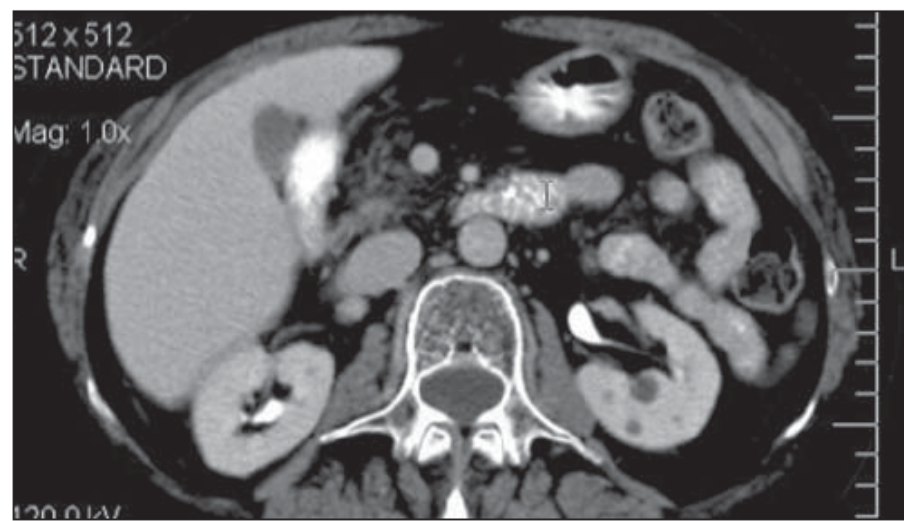


Figura 5. Relação entre o mAs utilizado e o peso do paciente em exames de abdome superior.



A
B
Figura 6. Imagem do abdome com 5 mm de espessura de corte. **A:** 200 mAs; **B:** 320 mAs.

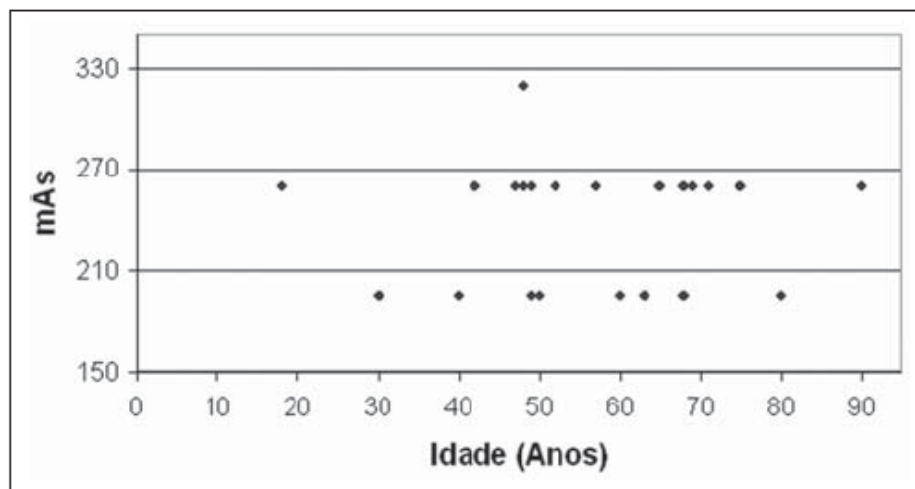


Figura 7. Relação entre o mAs utilizado e a idade do paciente em exames de tórax.

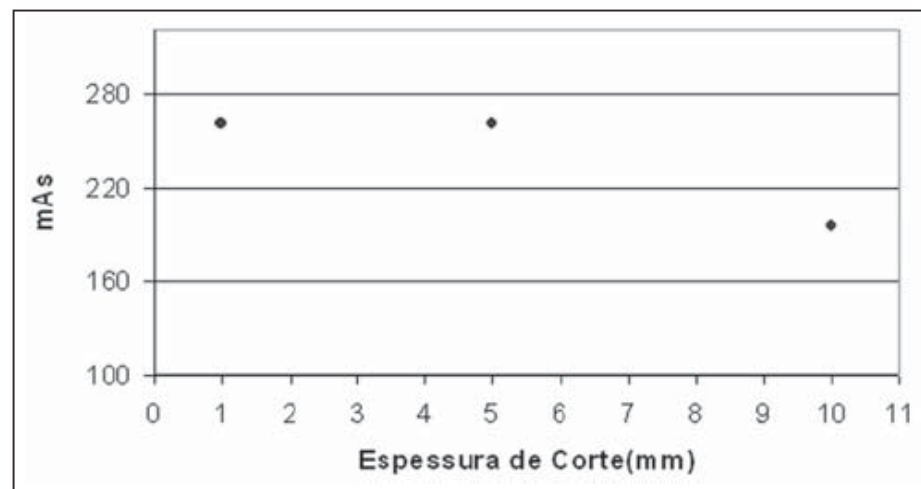


Figura 8. Relação entre o mAs utilizado e a espessura de corte em exames de tórax.

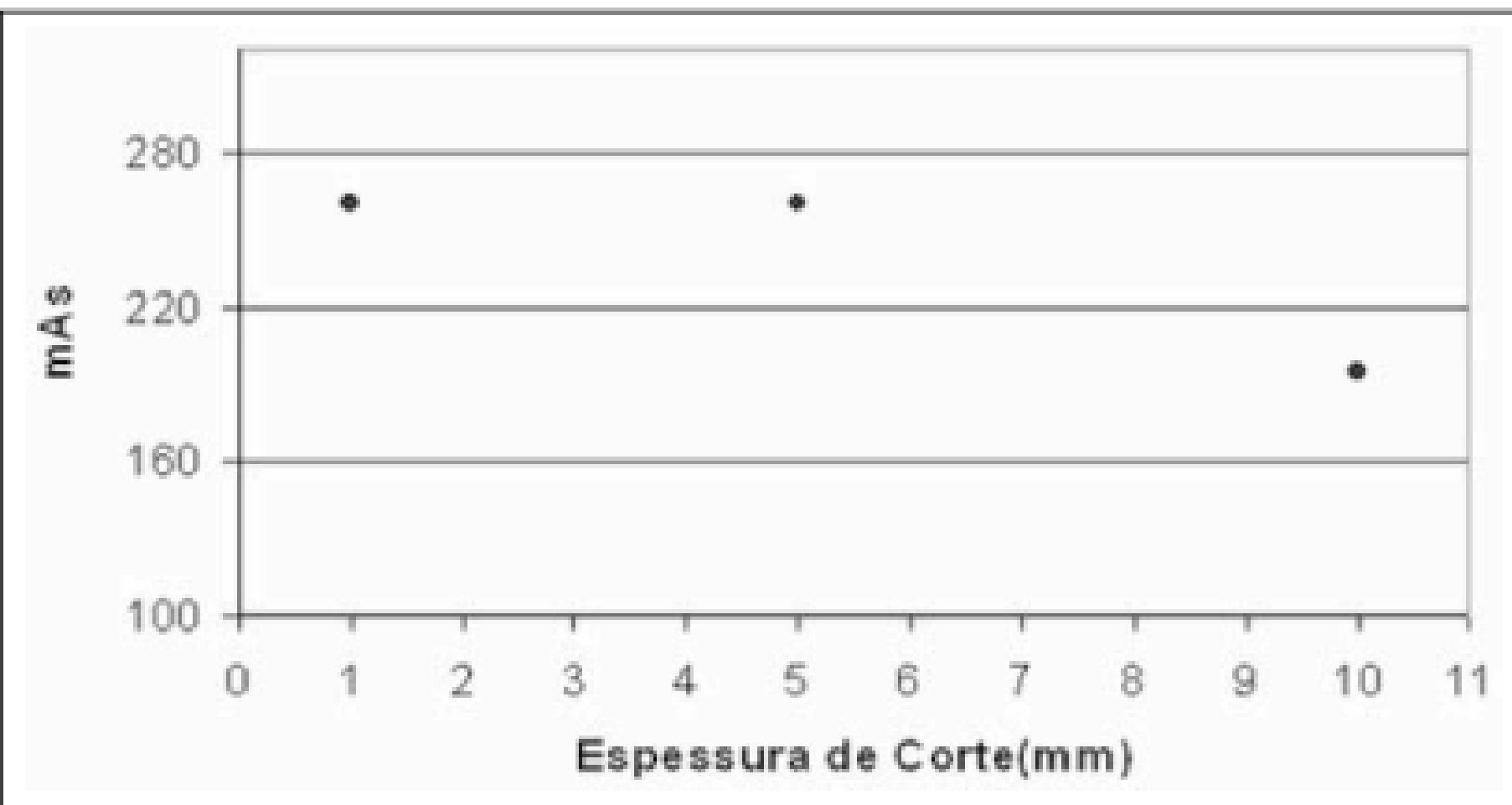


Figura 8. Relação entre o mA s utilizado e a espessura de corte em exames de tórax.

Tabela 4 Comparação e redução porcentual na MSAD para exames de crânio.

| Pacientes | Região | mAs utilizado | MSAD (mGy) | mAs sugerido | MSAD (mGy) | Redução média na dose |
|---------------|-----------------|---------------|------------|--------------|------------|-----------------------|
| Adultos | Fossa posterior | 320 | 26,6 | 260 | 21,8 | 20% |
| | Supratentorial | 260 | 25,3 | 200 | 19,5 | |
| 5–10 anos | Fossa posterior | 260 | 21,8 | 240 | 20,0 | 6% |
| | Supratentorial | 200 | 24,4 | 195 | 23,7 | |
| 3–5 anos | Fossa posterior | 260 | 21,8 | 200 | 16,8 | 13% |
| | Supratentorial | 200 | 24,4 | 195 | 23,7 | |
| 1–3 anos | Fossa posterior | 260 | 21,8 | 195 | 16,3 | 22% |
| | Supratentorial | 200 | 24,4 | 160 | 19,6 | |
| 6 meses–1 ano | Fossa posterior | 260 | 21,8 | 150 | 17,7 | 29% |
| | Supratentorial | 200 | 24,4 | 120 | 14,7 | |
| 0–6 meses | Fossa posterior | 260 | 21,8 | 120 | 14,0 | 45% |
| | Supratentorial | 200 | 24,4 | 90 | 11,0 | |

Tabela 5 Comparação e redução porcentual na MSAD para exames de abdome superior.

| Peso(kg) | mAs utilizado | MSAD (mGy) | mAs sugerido | MSAD (mGy) | Redução média na dose |
|----------|---------------|------------|--------------|------------|-----------------------|
| < 50 | 320 | 14,1 | 200 | 8,9 | 37% |
| 50 a 80 | 320 | 14,1 | 260 | 11,6 | 18% |
| > 80 | 320 | 14,1 | 320 | 14,1 | 0% |

Conclusão

- A Portaria 453/98 do Ministério da Saúde⁽¹⁴⁾ apresenta níveis de referência para TC em paciente adulto típico apenas nos exames de crânio, coluna lombar e abdome. Os valores de MSAD para crânio e abdome, exames discutidos neste trabalho, são de, respectivamente, 50 e 25 mGy. Já o guia europeu⁽¹⁵⁾ apresenta níveis de referência para muitos exames, e os valores para crânio, abdome e tórax são de 60, 35 e 30 mGy, respectivamente
- Uma alteração nos protocolos dos exames descritos acarretará diminuição significativa na dose de radiação e aumento na vida útil do tubo de raios X, sem comprometer o diagnóstico.