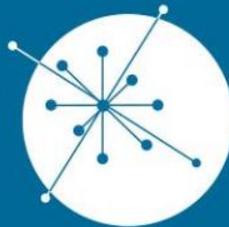


# Tomografia Computadorizada



GRUPO DE  
**DOSIMETRIA  
DAS RADIAÇÕES**  
e FÍSICA MÉDICA

---

IFUSP - Instituto de Física da USP

Jullianna Cristina de Oliveira Castro  
Paulo Zago Leonel

*São Paulo, 27 de setembro de 2022.*



## PARTE 1 - COMPONENTES



## Computador do cérebro

O mais moderno aparelho de raios-X eletrônico já está em uso, no Morley Hospital, em Londres, para exame do cérebro. Fotografias nítidas e minuciosas dos tecidos do cérebro são fornecidas pelo aparelho, dispensando — o que até então era impossível — a anestesia. Chamado "EMI-Scanner", valeu ao seu inventor, Godfrey Hounsfield, o Prêmio MacRobert 1971, no valor de 25 mil libras (cerca de 375 mil cruzeiros). Trata-se, no terreno da tecnologia, do equivalente ao Prêmio Nobel, e foi entregue recentemente ao vencedor, numa solenidade em Londres, pelo Príncipe Philip. O aparelho, que é um computador, produz fotos do cérebro numa média de quatro pacientes por hora. É capaz de prestar uma ou duas mais informações sobre o estado de um paciente do que até aqui era possível.



1971

## Computado do cérebro

O mais moderno aparelho de raios-X eletrônico já em uso, no Morley Hospital em Londres, para exames de cérebro. Fotografias nitidamente minuciosas dos tecidos do cérebro são fornecidas pelo aparelho, dispensando — o que até então era impossível — anestesia. Chamado "EMI Scanner", valeu ao seu inventor, Godfrey Hounsfield, o Prêmio MacRobert 1971, no valor de 25 mil libras (cerca de 375 mil cruzeiros). Toma-se, no terreno da tecnologia, do equivalente do Prêmio Nobel, e foi entregue recentemente ao vencedor, numa cerimônia em Londres, no Príncipe Philip. O aparelho é um computador, produz fotos do cérebro numa média de quatro pacientes por hora e é capaz de prestar certas mais informações sobre o estado de um paciente do que até aqui era possível.

## Na Santa Casa, computação em diagnóstico neurológico

Os diagnósticos neurológicos, até então feitos pelos mais tradicionais exames indiretos que em geral deixavam dúvidas quanto à origem de tumores e sua malignidade, agora podem ser realizados com grande precisão e sem os riscos anestésicos, graças ao EMI-Scanner, aparelho que faz tomografia computadorizada em 10 minutos. O Scanner foi doado à Santa Casa da Misericórdia pelo armador chinês Y. K. Pao, a pedido da filha do Presidente Getúlio, Amélia Lucy Getúlio.

O neurocirurgião Paulo Niemeyer Filho, responsável pelo Departamento de Tomografia Computadorizada da Santa Casa de Misericórdia, informa ontem que o novo aparelho é mais de cem vezes mais sensível que o EMI-X convencional e permite a visualização de áreas que antes foram vistas apenas em exames aolun. O Scanner está funcionando em caráter experimental.

Além de superar os tradicionais exames indiretos, como a arteriografia, pneumoencefalografia, ventriculografia, todos com auxílio de contraste, o Scanner libera o paciente da internação, já que o diagnóstico é feito em 10 minutos.

### COMPROVAÇÃO

Paulo Niemeyer Filho explicou que, pelo método Scanner, o tecido cerebral pode ser visto pela primeira vez em seus mínimos detalhes. No caso de um enfarte cerebral, coarctação ou neurocirurgia, a área afetada pelo derrame pode ser localizada, possibilitando assim, também pela primeira vez no Rio, a certeza do diagnóstico e um tratamento adequado, o que não acontecia antes porque os diagnósticos eram apenas clínicos, sem a comprovação radiológica.

— O Scanner facilitará não apenas o trabalho do neurologista. O aparelho pode ser utilizado também pelos oftalmologistas, que poderão estudar o nervo óptico e a cavidade orbitária dentro dos mais modernos métodos da medicina tecnológica — disse Paulo Niemeyer Filho, que passou dois anos fazendo estágio sobre o método Scanner num dos hospitais de Londres.

O aparelho já é o responsável pela cirurgia a que se submeteu ontem um paciente da Santa Casa da Misericórdia. Após fazer três exames pelo convencional X-rama, o diagnóstico ainda estava duvidoso. Essas dúvidas foram afastadas dentro de 10 minutos pelo Scanner, que mostrou nitidamente, em seu primeiro teste, que se tratava de um



O EMI-Scanner, aparelho doado à Santa Casa pelo armador chinês Y. K. Pao

tumor benigno do nervo óptico. O Scanner foi comprado à Inglaterra, em janeiro deste ano, por 600 mil dólares (aproximadamente Cr\$9 milhões).

O método Scanner é formado por um complexo de sete peças que só podem funcionar a uma temperatura de no máximo 23 graus centígrados; uma mesa giratória de Raios X dois pacientes de controle com televisão; um computador; dois sistemas de gravidade de exames (um por disco, outro por fita); e um console que reproduz a imagem em números.

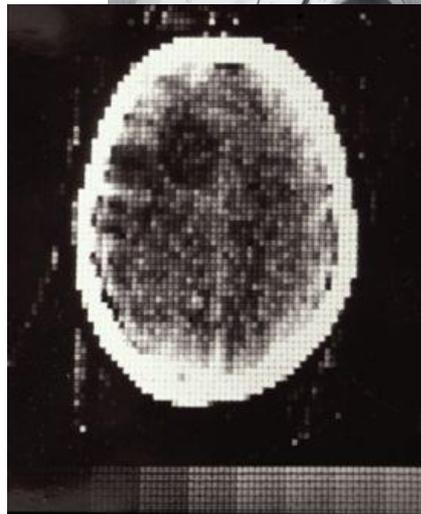
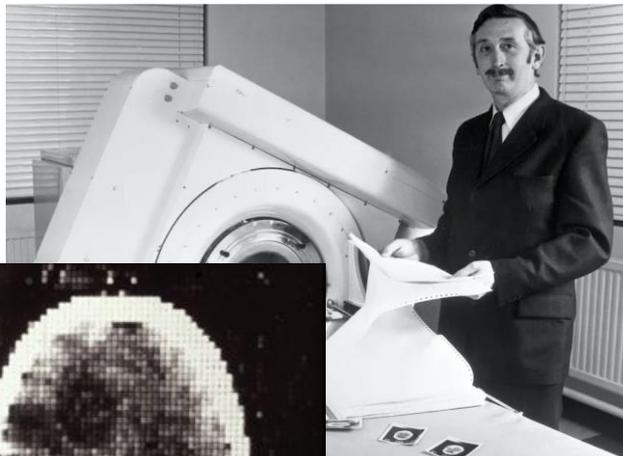
O exame consiste em cortes tomográficos horizontais do crânio, que se superõem desde sua base até a parte mais alta da cabeça, permitindo uma imagem em três dimensões. A televisão do Scanner exibe o resultado do exame, variando de cores, densidade e foco. Ainda segundo Paulo Niemeyer Filho, o Scanner é o único aparelho em condições de prestar se um tumor é de origem benigna ou cancerígena:

— Os outros métodos mostram apenas a presença de uma massa sem maiores detalhes — explicou.

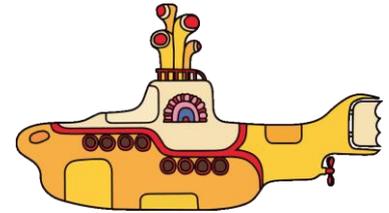
O paciente só poderá fazer o exame pelo método Scanner com recomendação médica. "Para evitar uma possível reação à massa ao Scanner, e que prejudicaria os realmente necessitados", esclareceu Paulo Niemeyer Filho. As instalações do Scanner na Santa Casa da Misericórdia foram consideradas "excepcionais" pelos técnicos ingleses da EMI — Electronic Medical Instrument — que elaboraram o projeto dos arquitetos Thales Memória e Artur Marcel.

— Além da doação do Y. K. Pao, o apoio da Provvedora da Santa Casa da Misericórdia foi fundamental para o Scanner funcionar no Rio pela primeira vez. Além do Rio, apenas São Paulo tem o método Scanner, na Beneficência Portuguesa.

O aparelho foi elaborado, em 1972, pelo inglês Gregory Hounsfield.



971

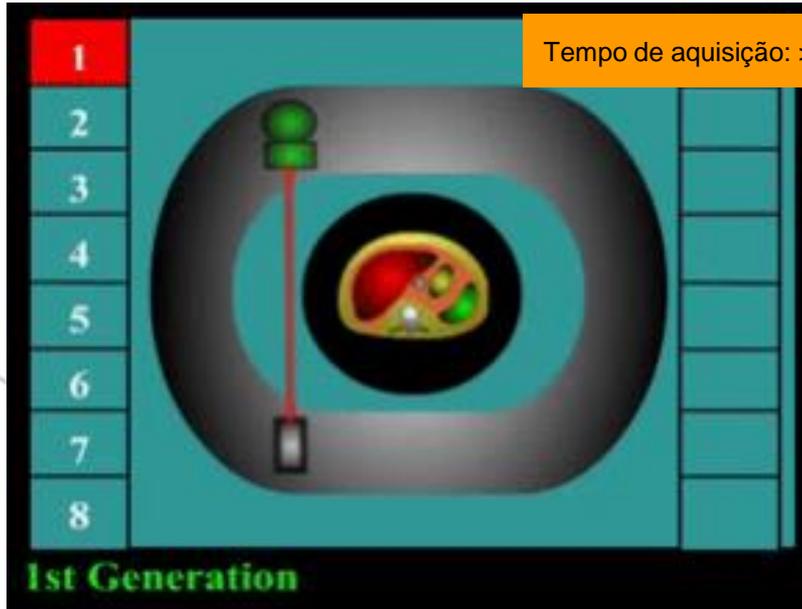


1979

## Movimento do conjunto fonte-detector:

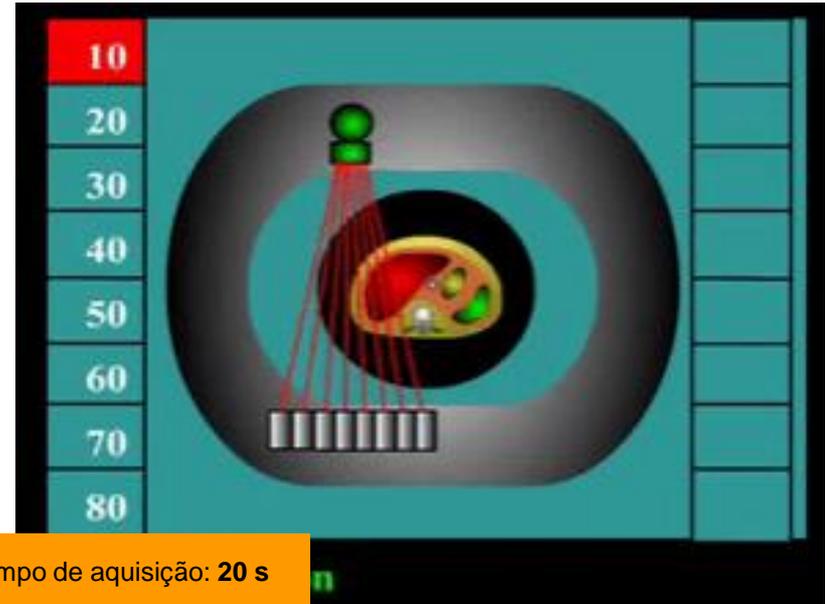
Translação e rotação ( $1^\circ$  por vez até  $180^\circ$ )

Tempo de aquisição: > 4 min



Translação e rotação ( $6^\circ$  por vez até  $180^\circ$ )

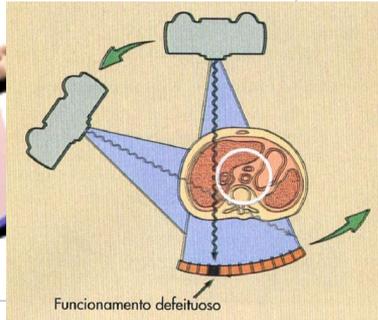
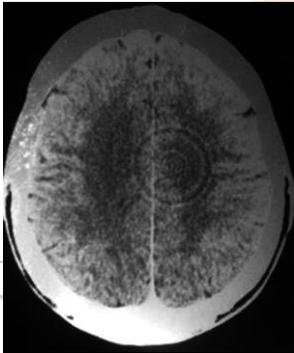
Tempo de aquisição: 20 s



## Movimento do conjunto fonte-detector:

### Rotação-rotação (arco de 30 a 60°)

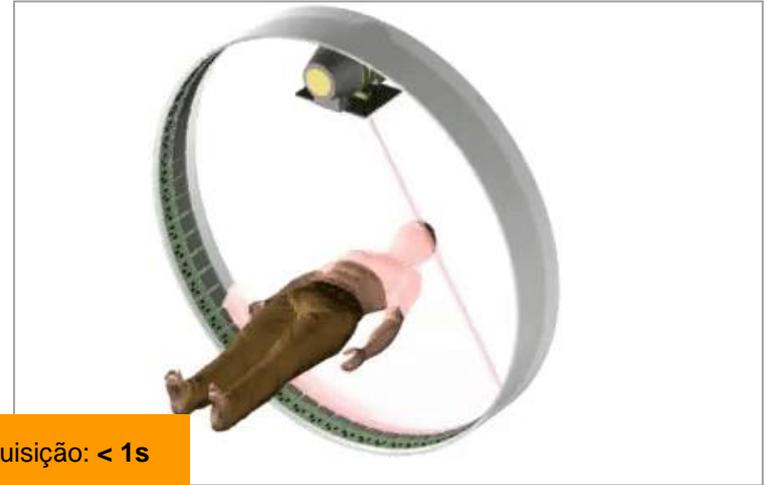
Tempo de aquisição: < 1s



Fonte: <https://radiopaedia.org> ; Bushong, 2013.

Fonte: <https://radiopaedia.org>

### Rotação (arco 360° com 4000 detec.)



Tempo de aquisição: < 1s

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=AoPGvAO2Pil>

## Movimento do conjunto fonte-detector:

Rotação-rotação (arco de 30 a 60°)

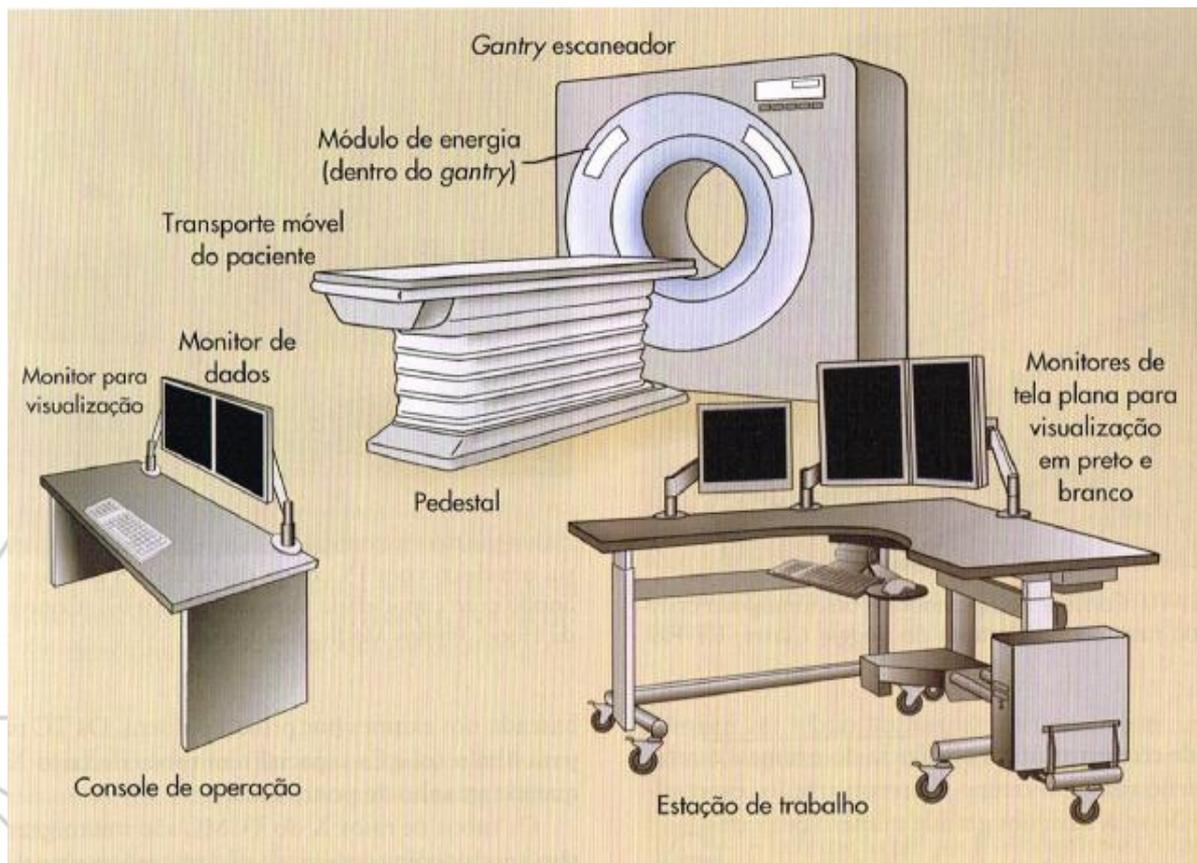
Tempo de aquisição: < 1s



make a gif.com

Fonte: [https://www.youtube.com/watch?v=aBHMsm4\\_oi8](https://www.youtube.com/watch?v=aBHMsm4_oi8)

# Principais componentes



Tubo de raios X

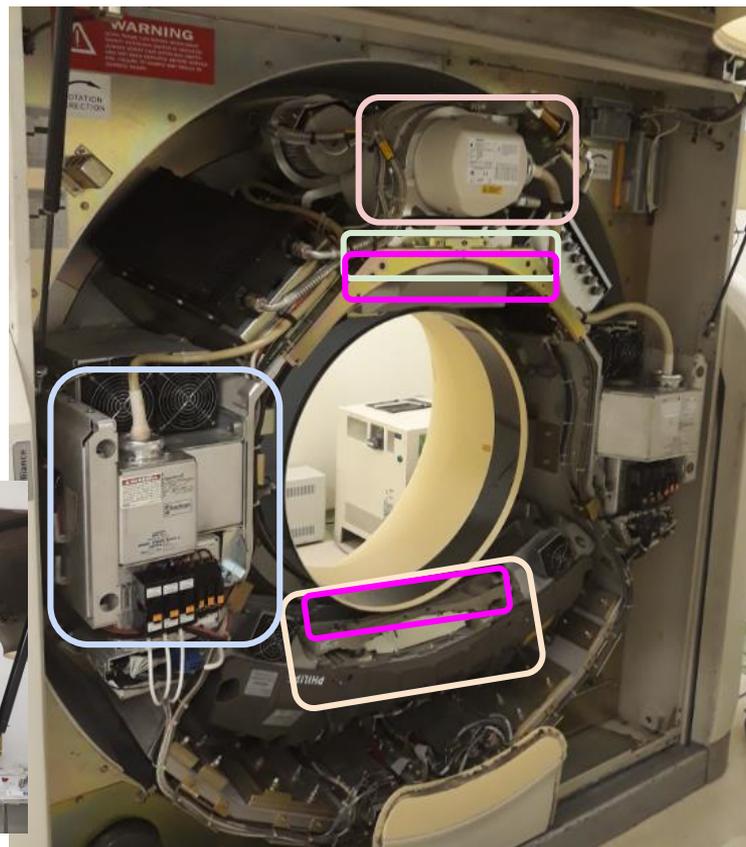
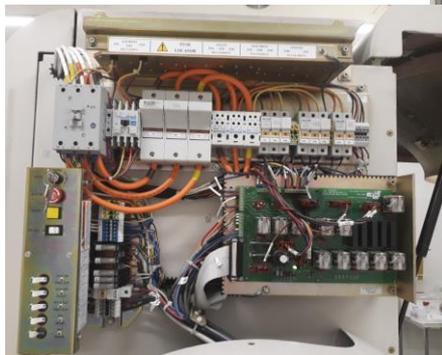
Detectores

Filtros

Gerador

Colimadores

Eletrônica

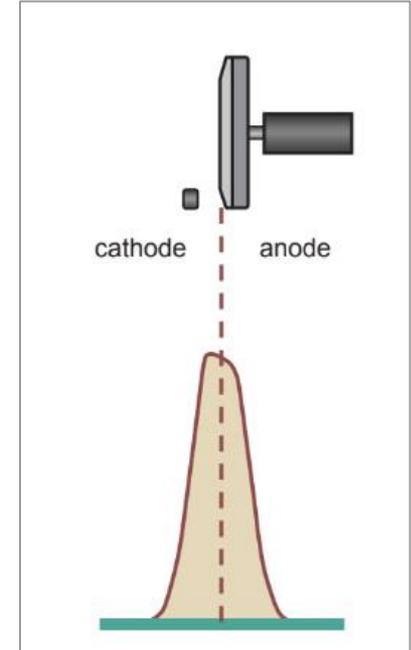
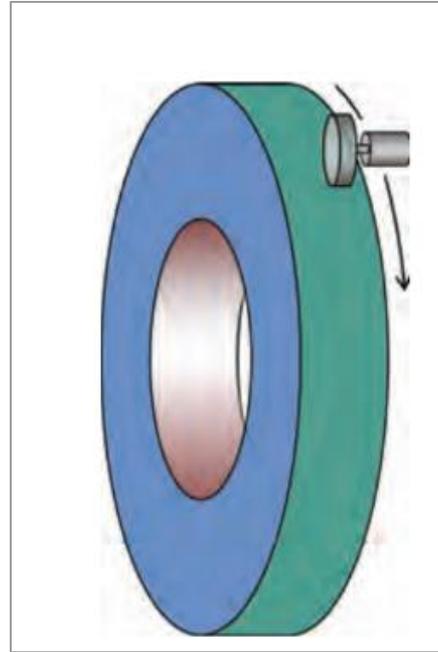


# Tubo de raios X

Tubo paralelo ao eixo z.

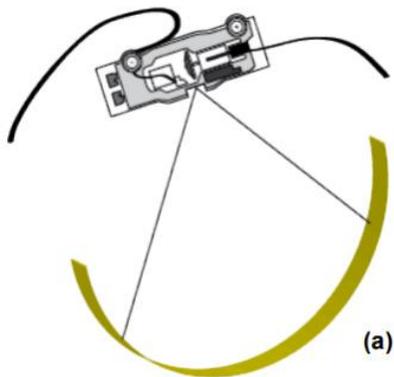
Rotação do anodo paralela ao plano de rotação do Gantry, diminui efeitos giroscópicos.

Diminuir a influência do efeito anódico (Paralelo ao eixo Z).

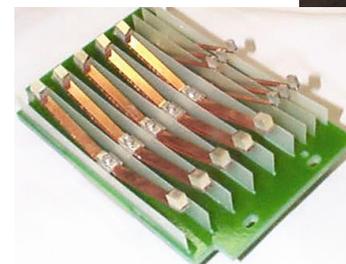
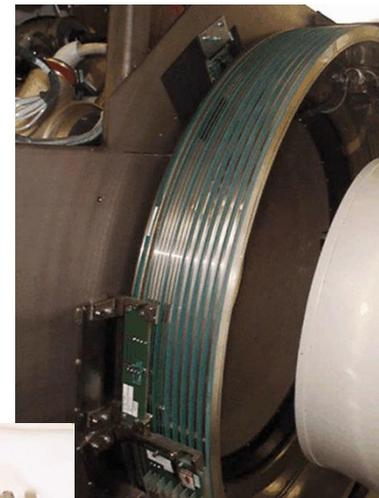
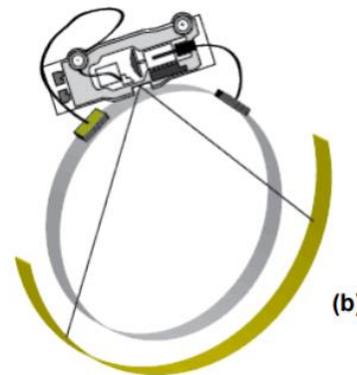


Fonte: Adaptado de BUSHBERG, 2012.

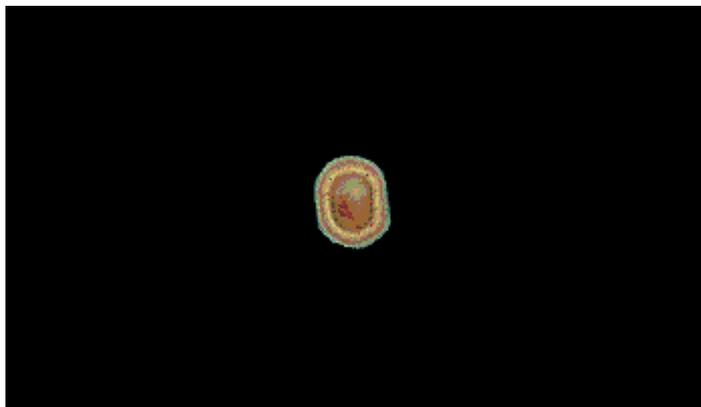
## Cabos



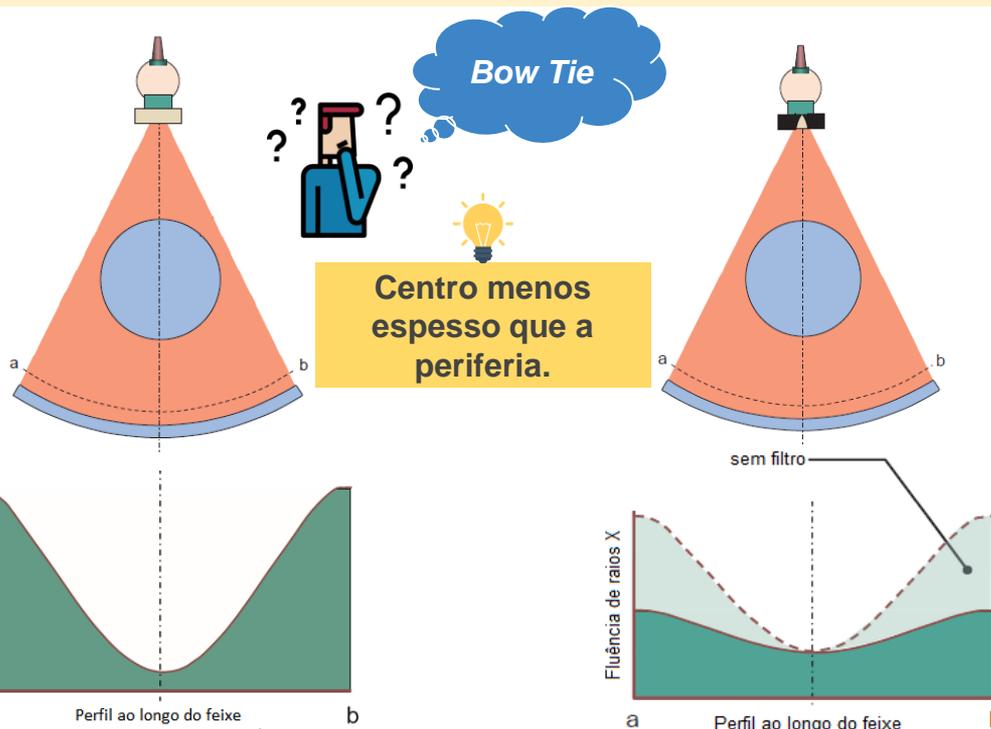
## Slip ring



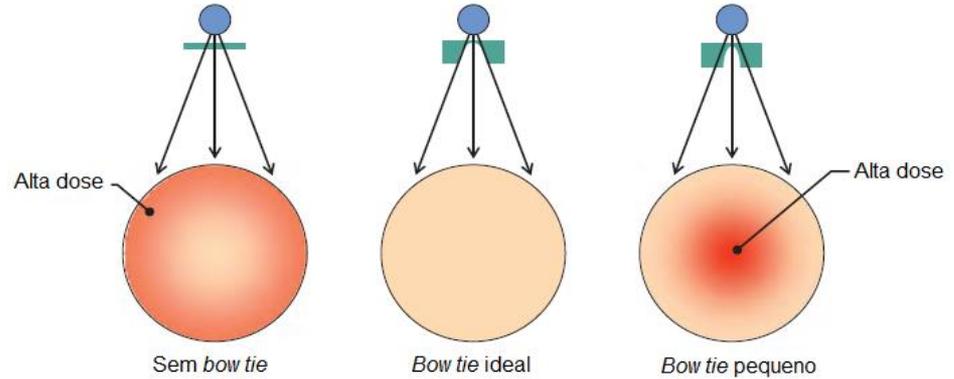
**Função:** Uniformizar o feixe de radiação.



Corpo humano → seção transversal aproximadamente elíptica.



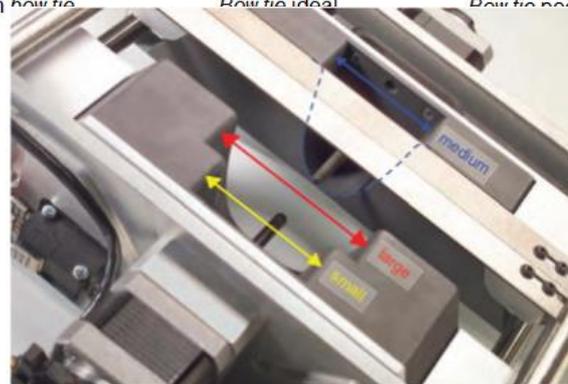
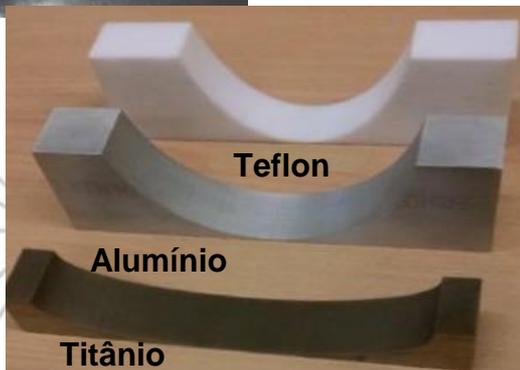
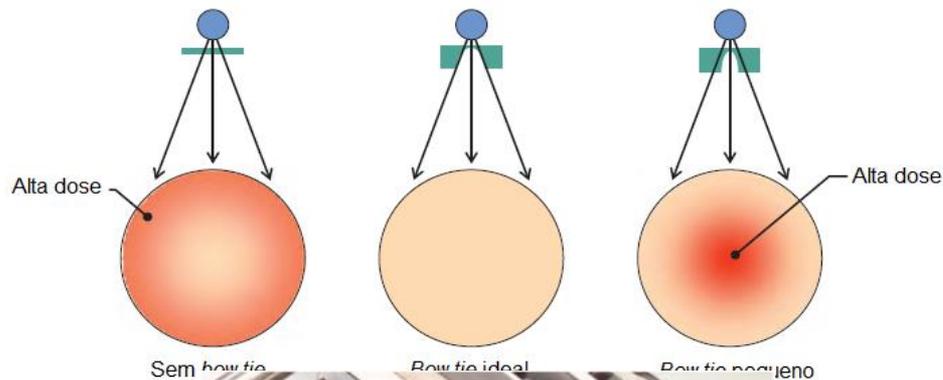
**Função:** Uniformizar o feixe de radiação.



Fonte: Adaptado de BUSHBERG, 2012.

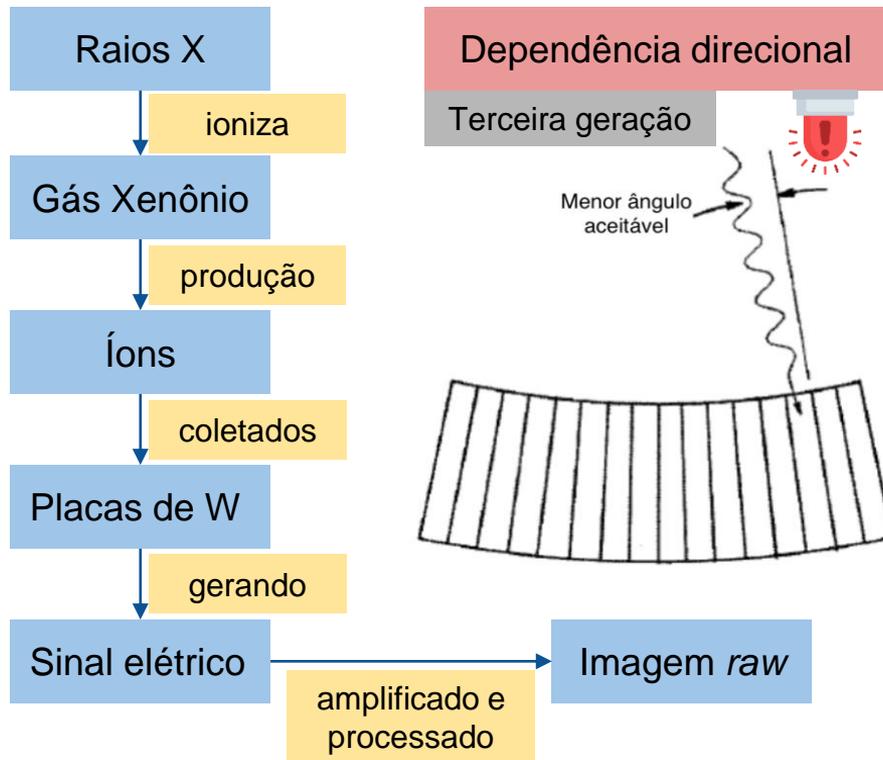
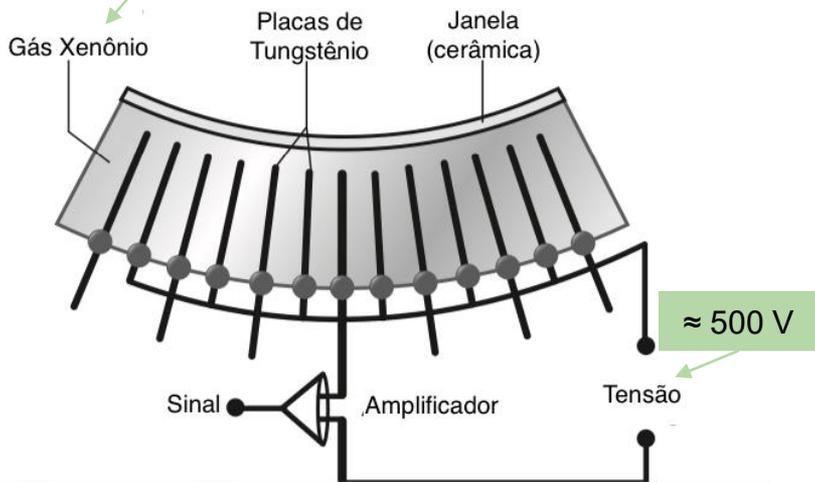


**Função:** Uniformizar o feixe de radiação.

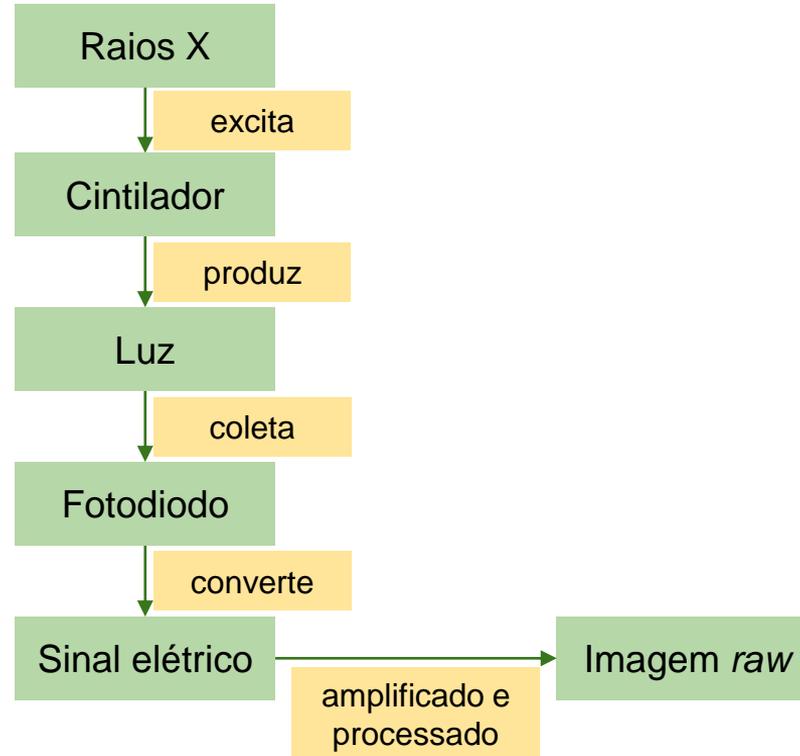
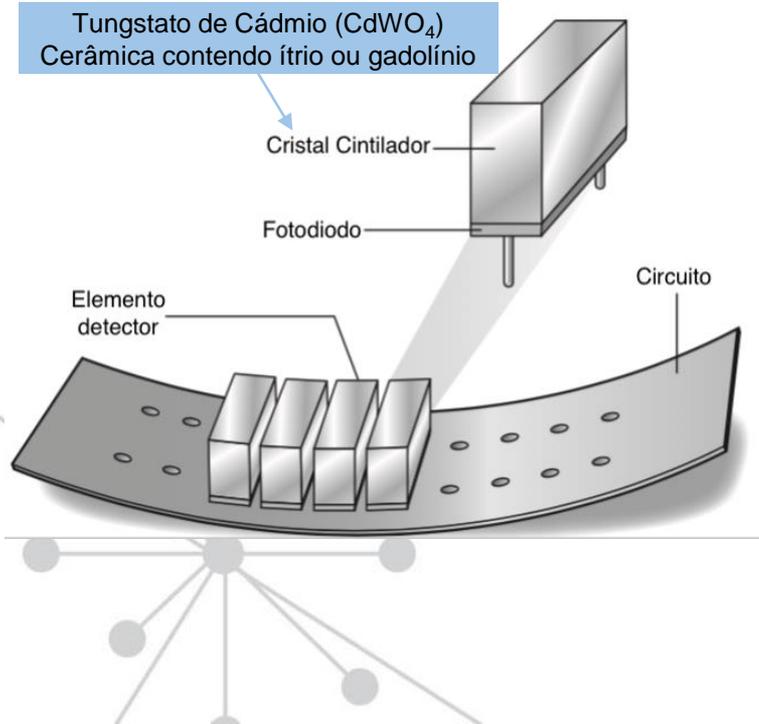


## DETECTORES À GÁS

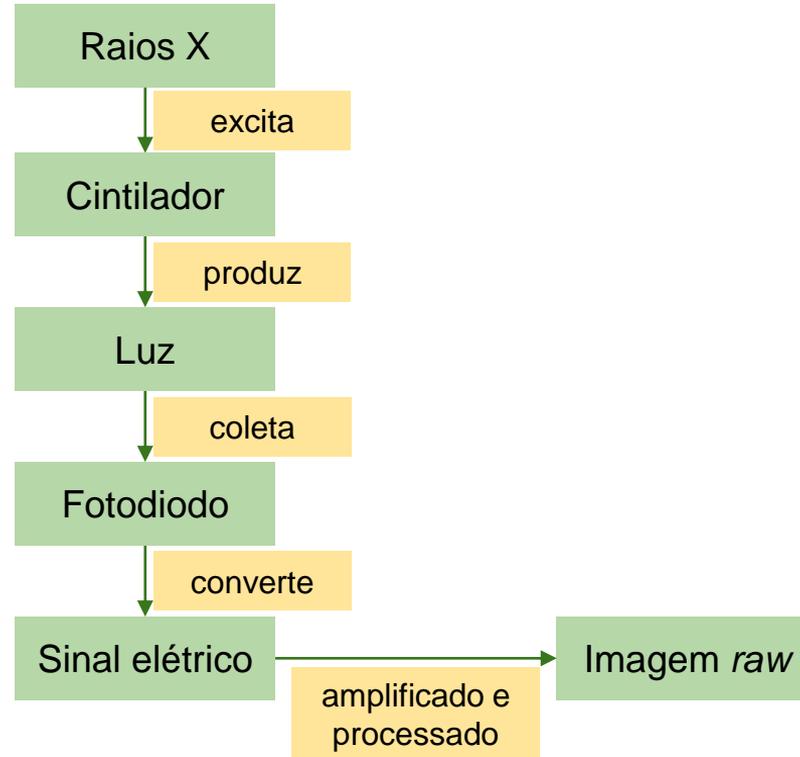
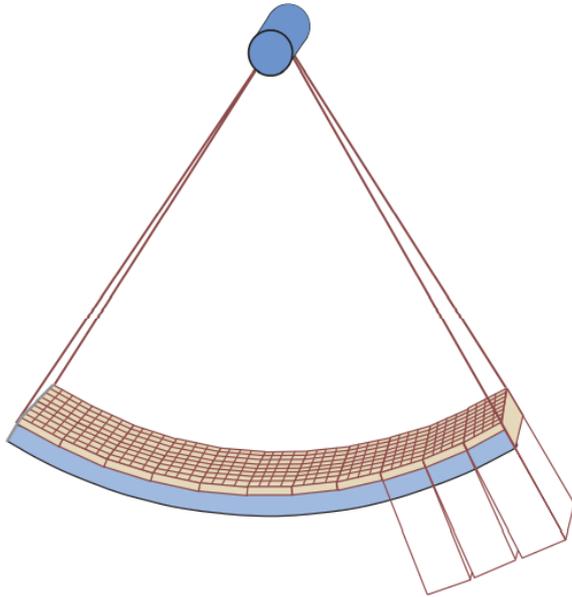
Pressão  $\approx 25$  atm



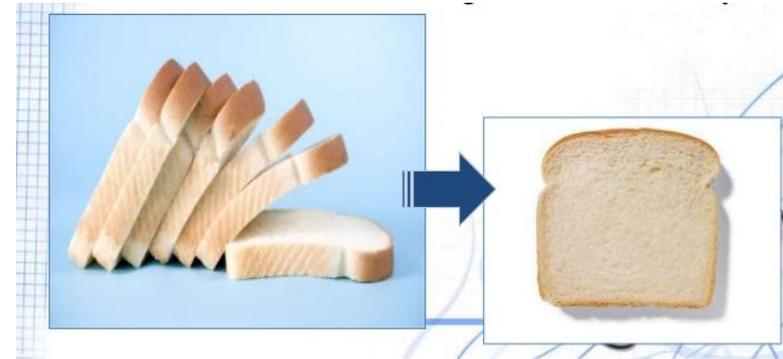
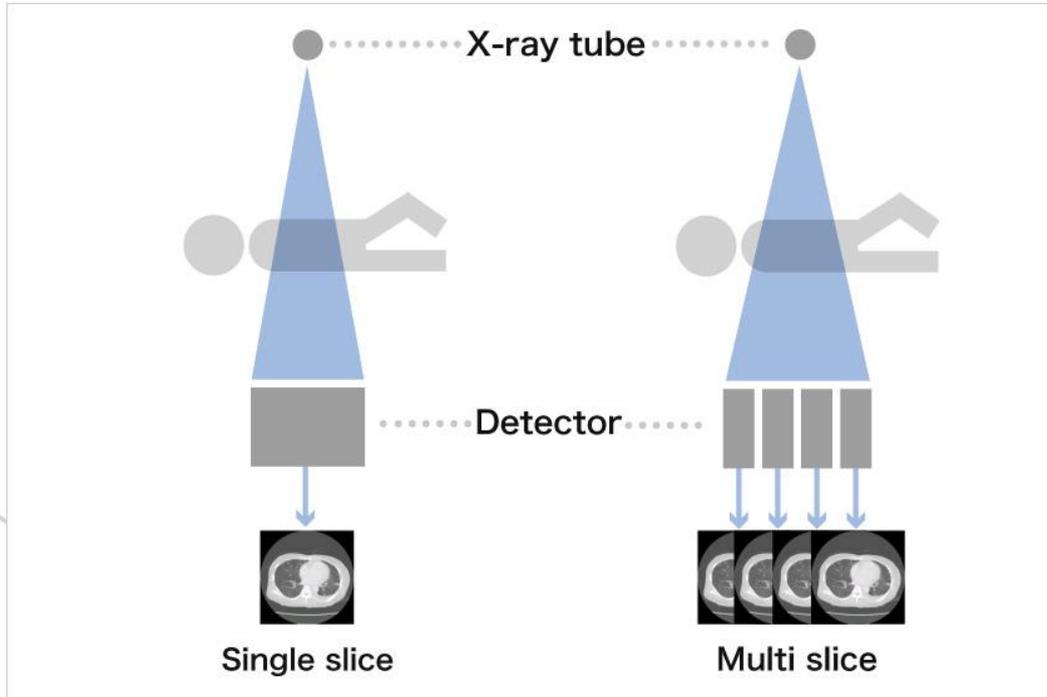
## DETECTORES DE ESTADO SÓLIDO



## DETECTORES DE ESTADO SÓLIDO



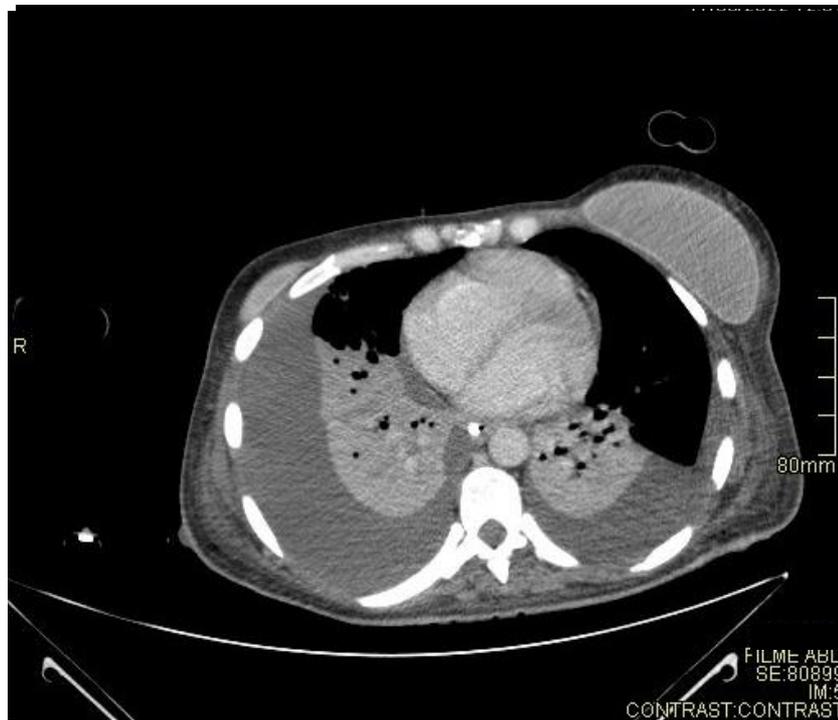
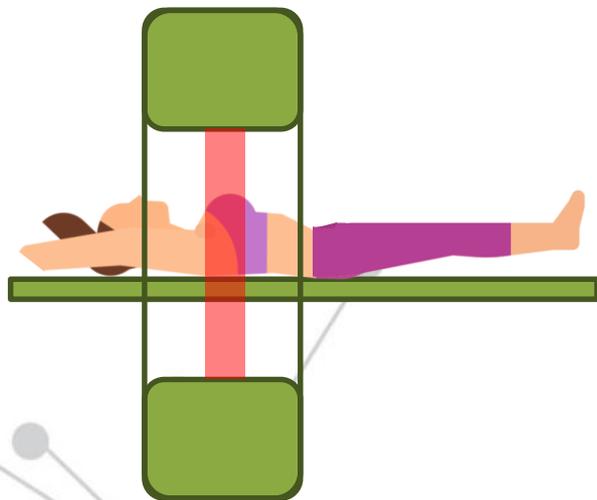
# Detectores



<https://global.canon/en/technology/interview/ct/index.html>

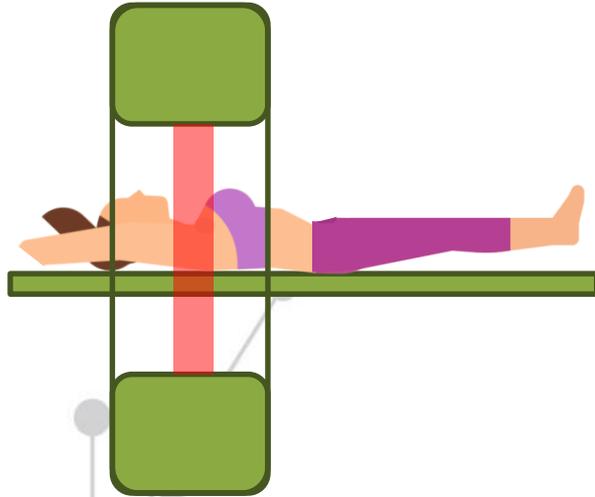
# Modo de aquisição

Axial



# Modo de aquisição

Helicoidal



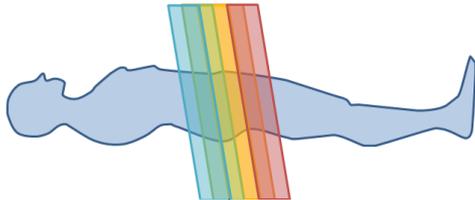
$$\text{pitch} = \frac{\text{deslocamento da mesa}}{nT}$$



**Definição:** Razão entre a distância percorrida pela mesa durante um giro de  $360^\circ$  e a largura do feixe de raios X.

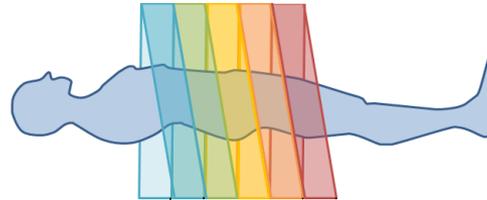
**Faixa:** 0,75 - 1,5 (depende do fabricante)

Cardíaco



$Pitch < 1$

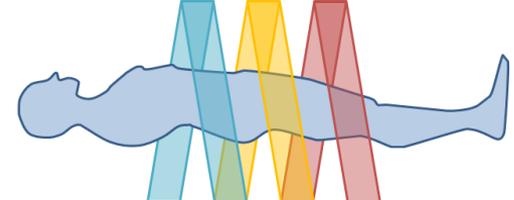
Sobreposição da mesma região.



$Pitch = 1$

Sequencial

Torácica e pediátrica



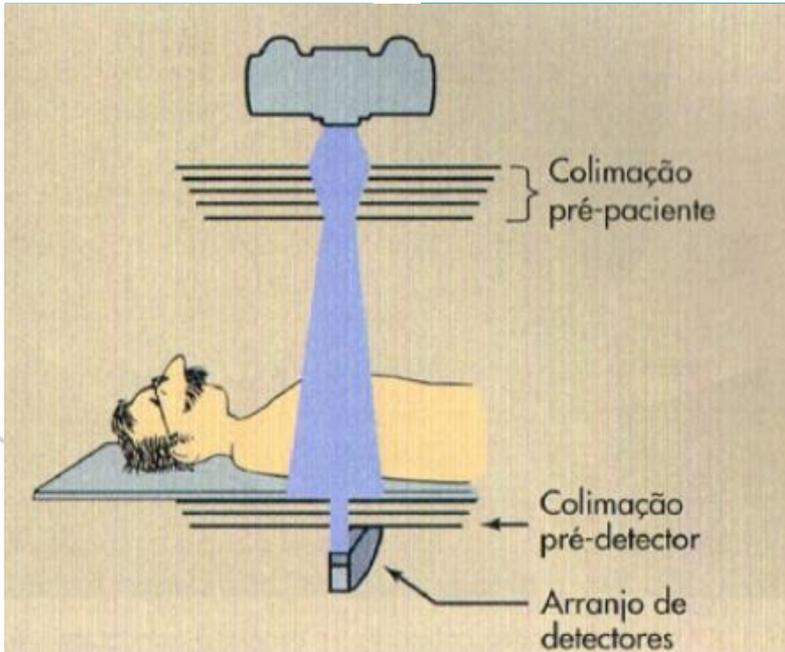
$Pitch > 1$

Região entre cortes não são irradiadas.

# Colimadores

Pré paciente

Pós paciente



↓ Espessura de corte

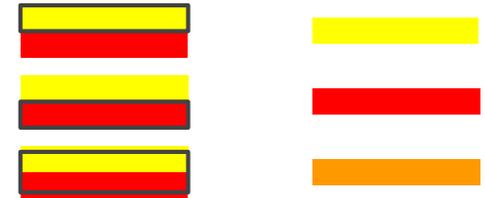
↓ Artefatos de volume parcial

↓ Raios X incidindo no detector

↑ Ruído

Dois tecidos de densidades diferentes :

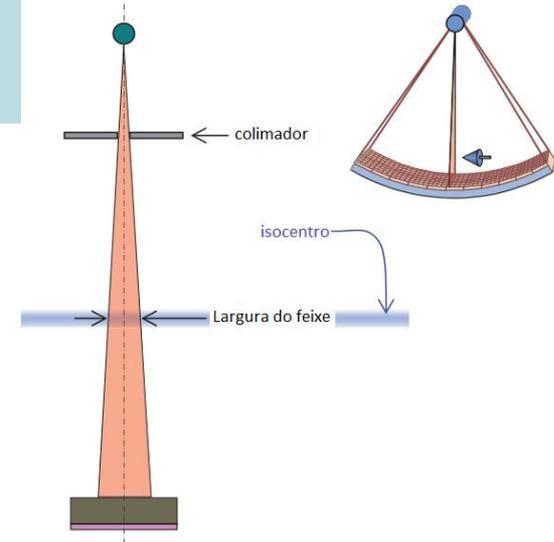
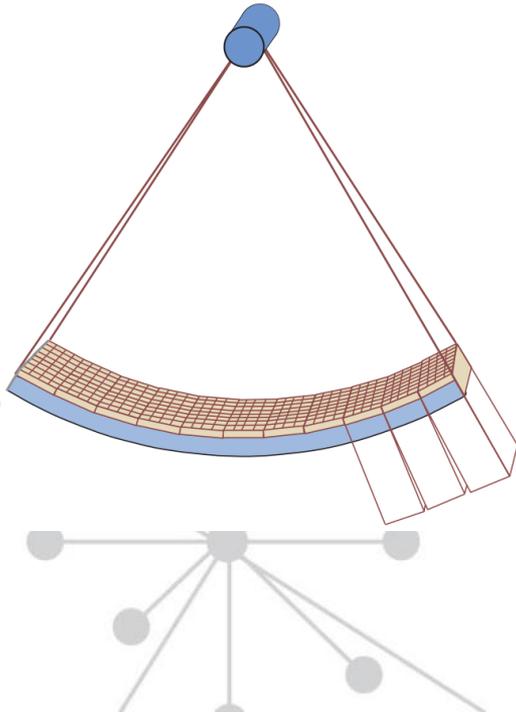
É visto com outra densidade



## Arranjo de múltiplos detectores

Conjunto de vários módulos de matrizes lineares de detectores de estado sólido

*Single-slice*: colimador determina a espessura de corte



## Arranjo de múltiplos detectores

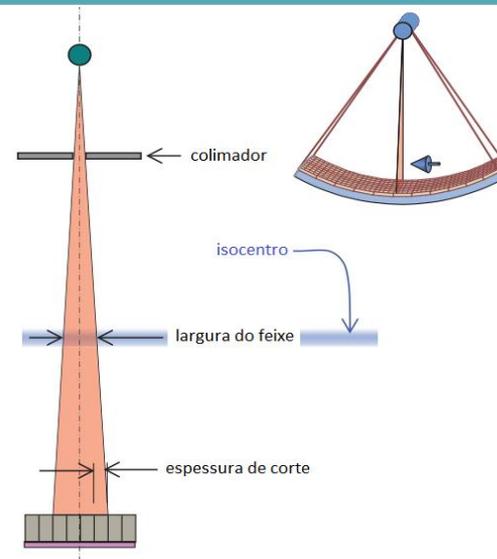
Conjunto de vários módulos de matrizes lineares de detectores de estado sólido

*Single-slice*: colimador determina a espessura de corte

*Multi-slice*: arranjo de detectores determina a espessura de corte e o número de cortes

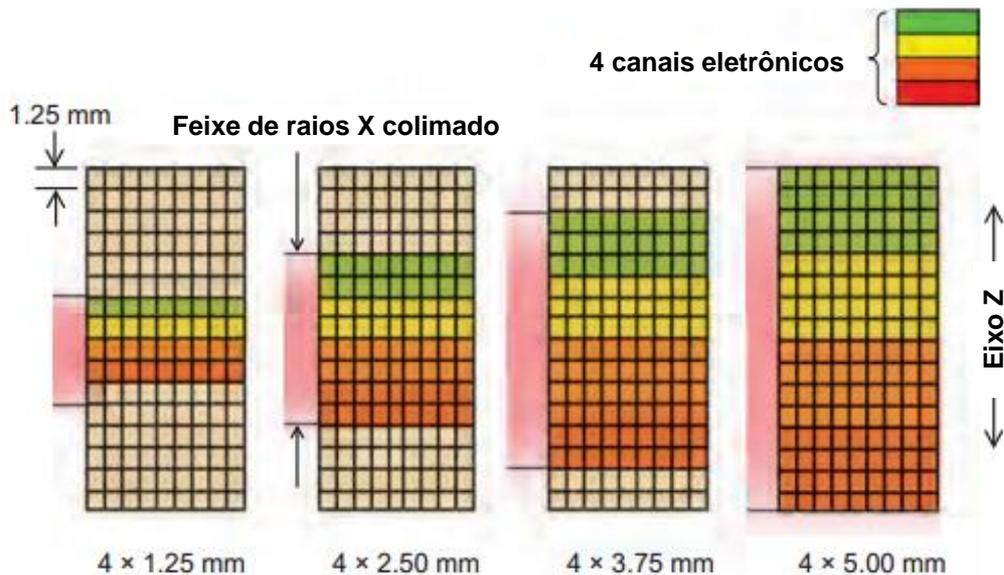
Largura do feixe → colimador

Largura do feixe =  $n \times T$



## Canais e Seleção da espessura de corte

Nº de canais



Configuração do detector

Fonte: Adaptado de Bushberg, 2012.

## Combinação de detectores

Ambos são de 4 canais

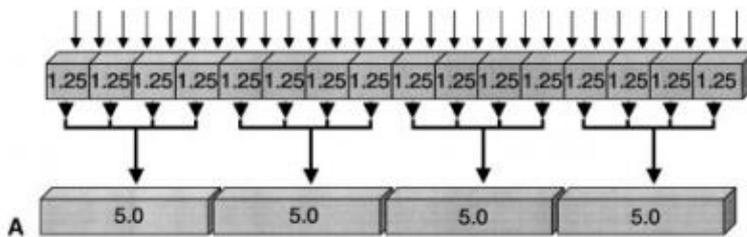
Fileiras híbridas



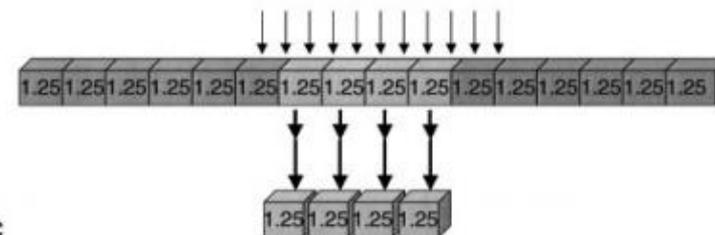
Fileiras homogêneas



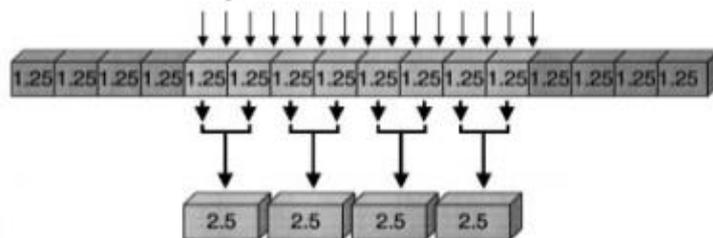
## Combinação de detectores



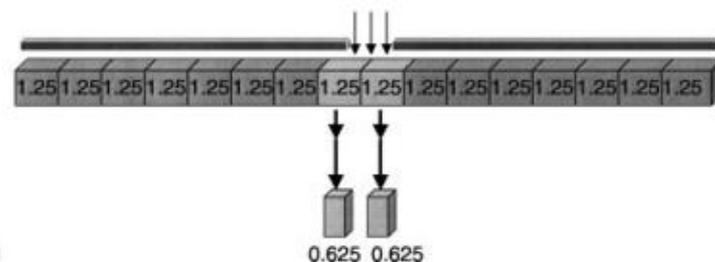
$$4 \times 5 \text{ mm} = 20 \text{ mm}$$



$$4 \times 1,25 \text{ mm} = 5 \text{ mm}$$

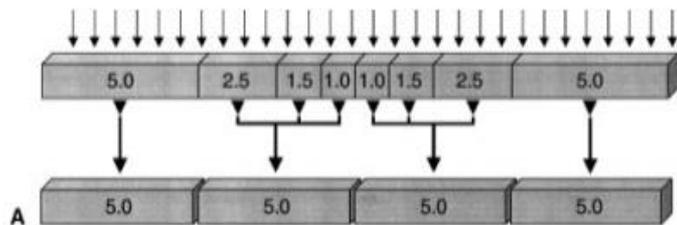


$$4 \times 2,5 \text{ mm} = 10 \text{ mm}$$

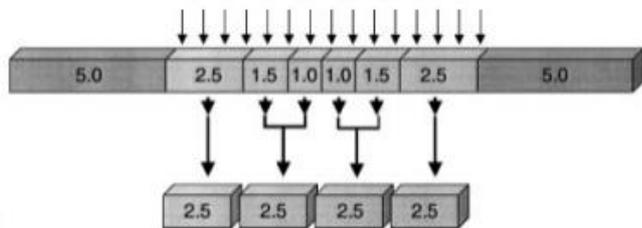


$$2 \times 0,625 \text{ mm} = 1,25 \text{ mm} \\ (\text{modo de 2 canais})$$

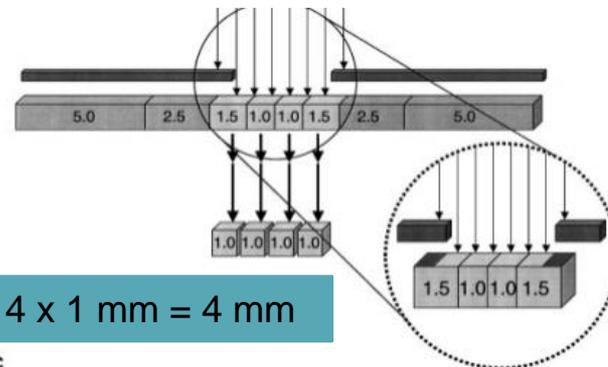
## Combinação de detectores



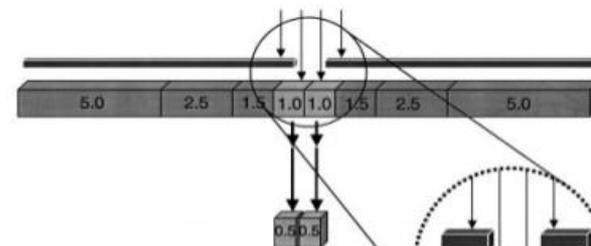
$$4 \times 5 \text{ mm} = 20 \text{ mm}$$



$$4 \times 2,5 \text{ mm} = 10 \text{ mm}$$



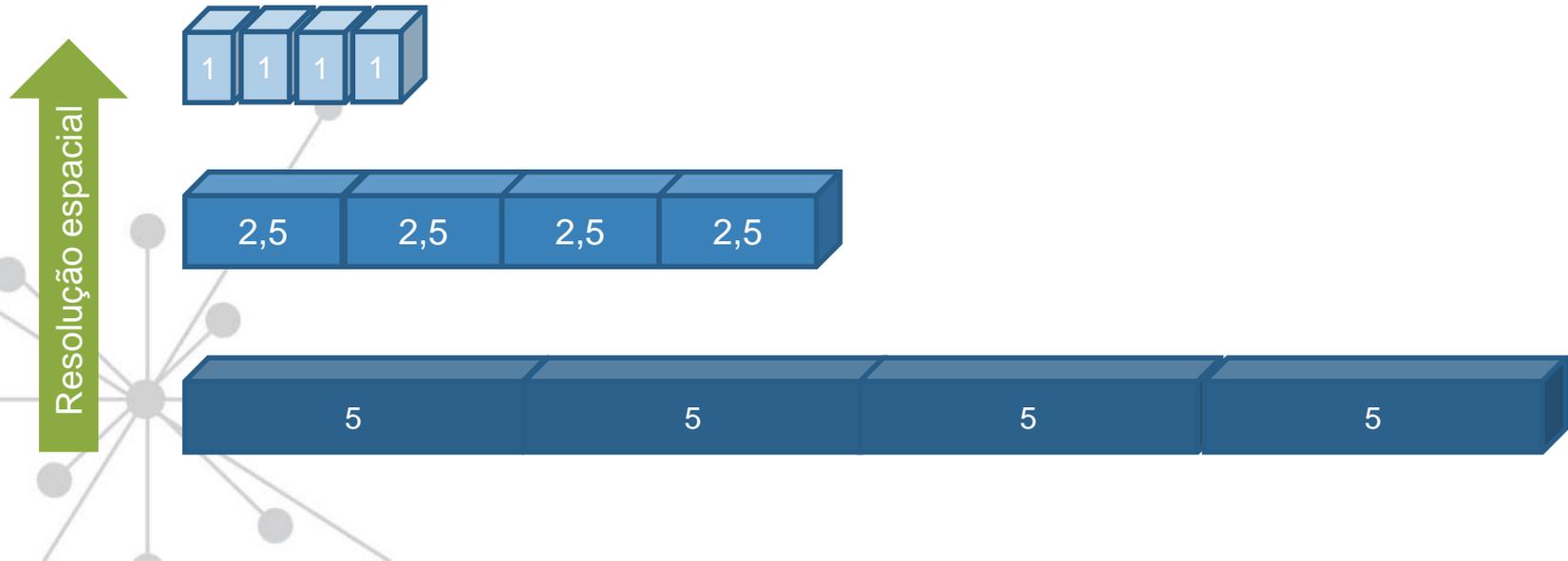
$$4 \times 1 \text{ mm} = 4 \text{ mm}$$



$$2 \times 0,5 \text{ mm} = 1 \text{ mm} \\ (\text{modo de 2 canais})$$

# Detectores

E a qualidade da imagem?



## Seleção da espessura de corte

Espessura de corte  
nominal

Largura física dos elementos detectores que criam a informação de corte no sistema de aquisição de dados

Espessura de corte  
efetiva

Dependendo do algoritmo de reconstrução e do pitch usado, ocorre um alargamento da fatia (espessura de corte realmente adquirida)



# Modulação de corrente

Exames de CT - AEC



Dose de radiação



Qualidade da imagem preservada

Sistema capaz de ajustar o valor da corrente (mA)

Tamanho do paciente

Densidade do tecido

Ângulo de irradiação

# Modulação de corrente

abordagens do sistema AEC:

Qualidade da imagem  
(padrão de ruído)

Corrente do tubo de  
referência ou produto  
corrente-tempo

Imagem de referência

❖ Os parâmetros também dependem dos fabricantes dos CTs.

# Modulação de corrente

Corrente fixa

Ajustar o mA fixo para diferentes indicações clínicas

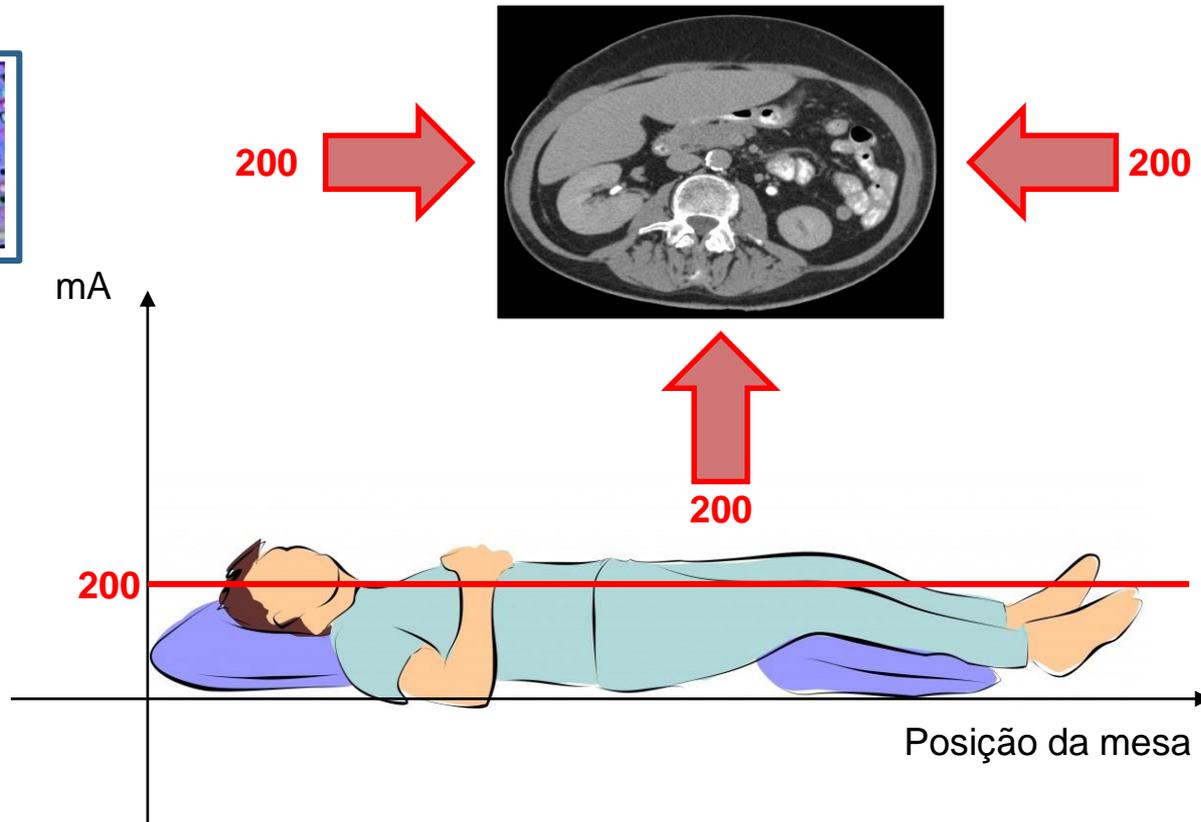
Configurações de mA fixas de tamanho específico para cada indicação

Pediátricos exigirá vários protocolos de mA fixos de grupo de peso ou tamanho



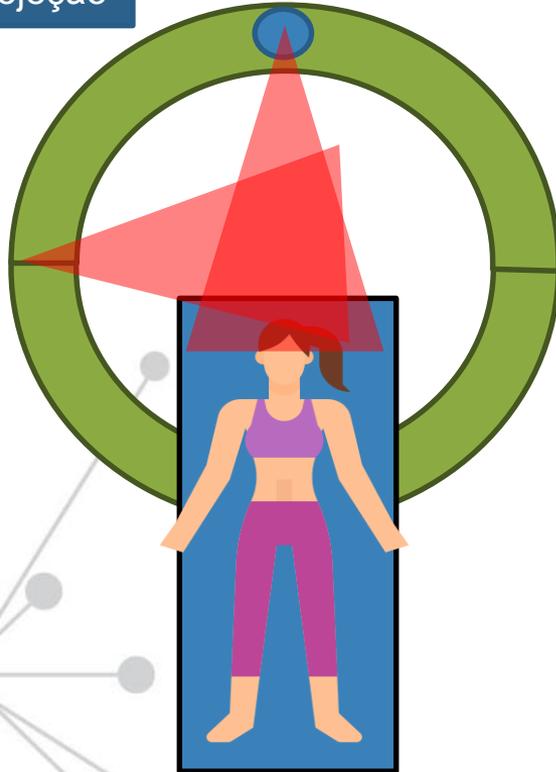
# Modulação de corrente

Corrente fixa



# Modulação de corrente

Radiografia de projeção



AEC modula a corrente do tubo ao longo da direção z (longitudinal) e / ou do plano x-y (angular)

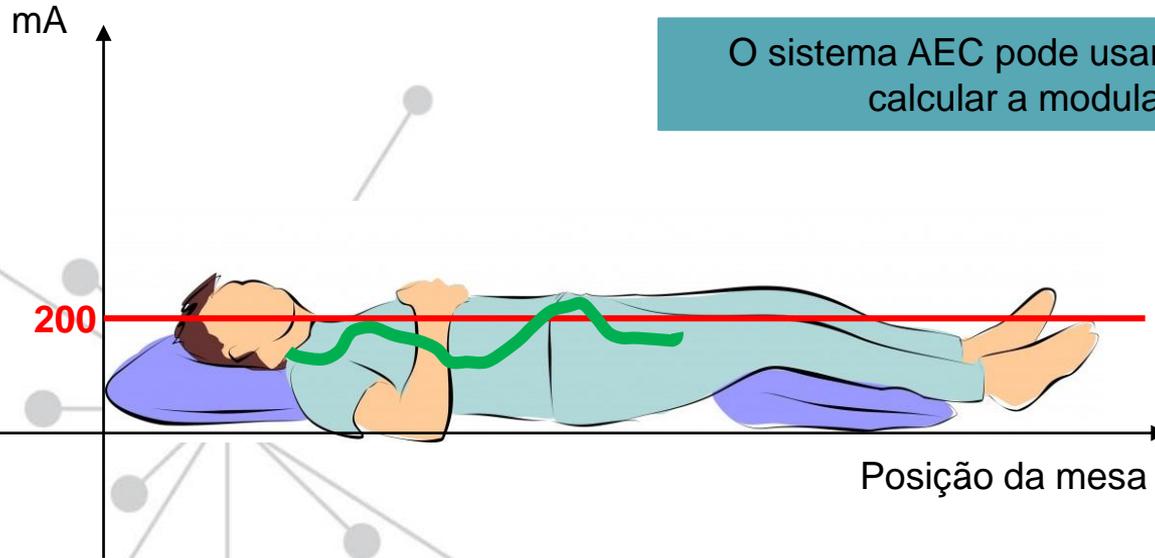
# Modulação de corrente

## Longitudinal

Baseada na variação da corrente do tubo ao longo do eixo z

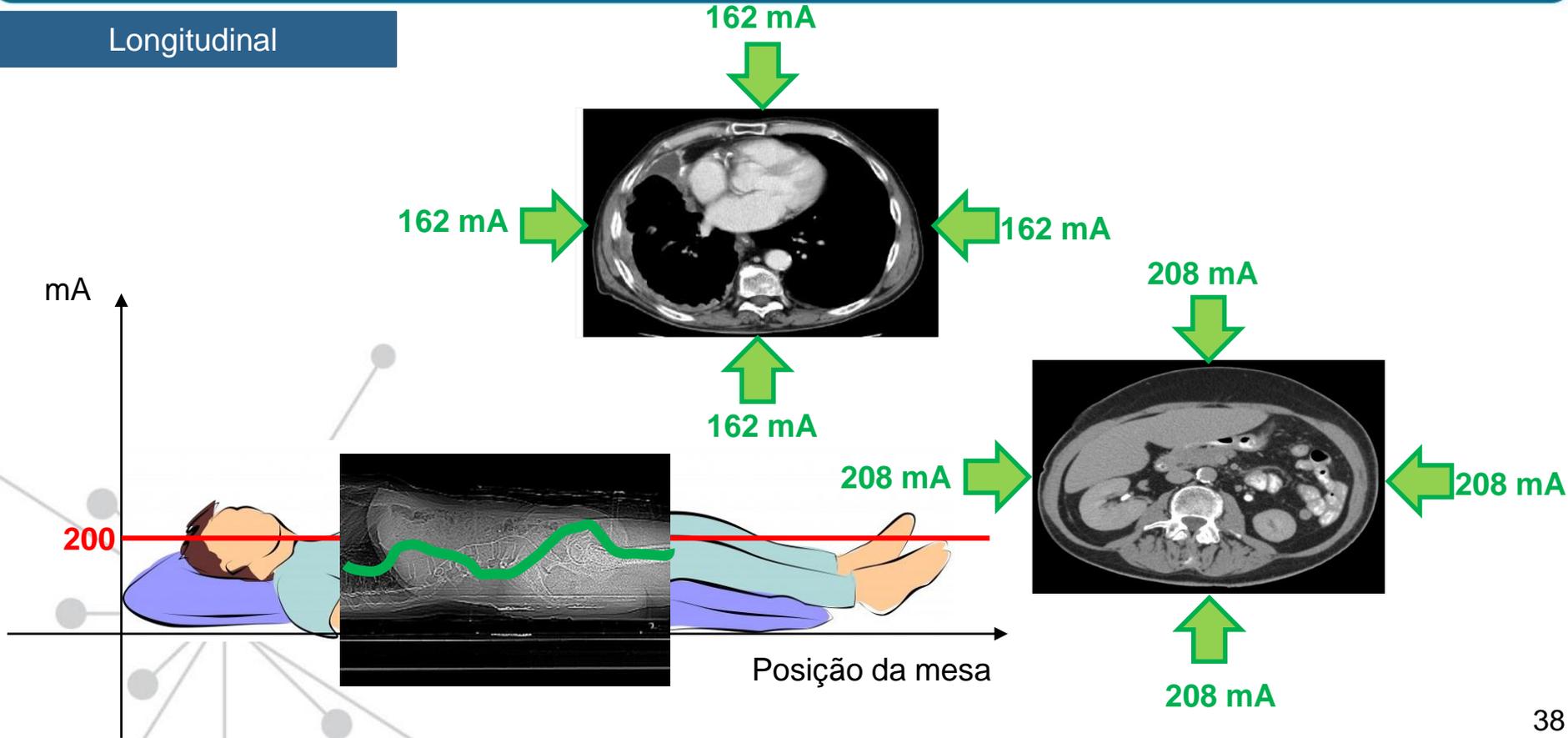
Radiografia de projeção como referência de densidade e espessura

O sistema AEC pode usar ou não ambas as imagens para calcular a modulação da corrente do tubo



# Modulação de corrente

Longitudinal

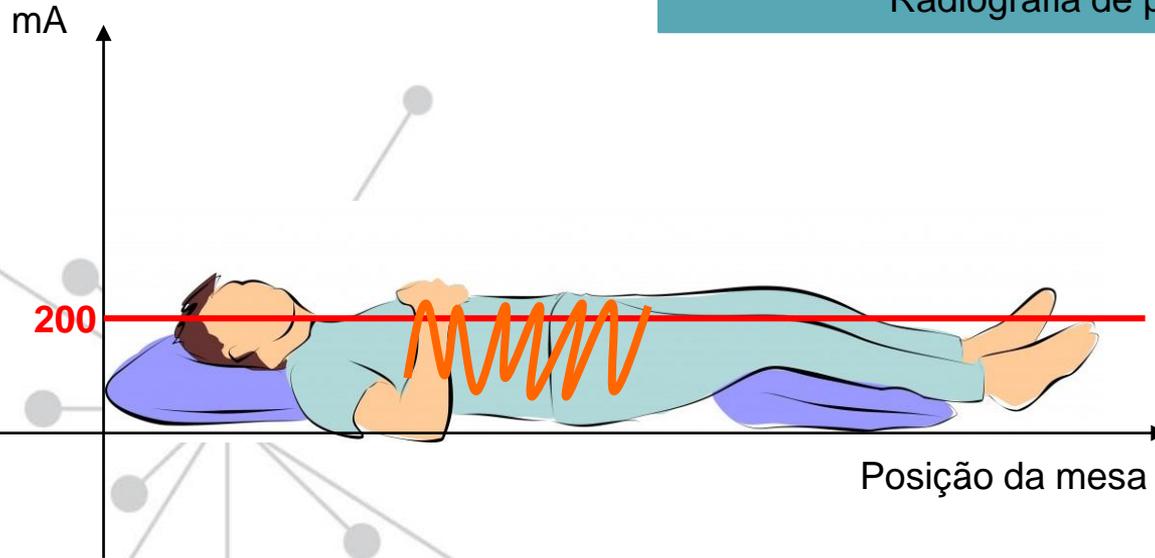


# Modulação de corrente

Angular

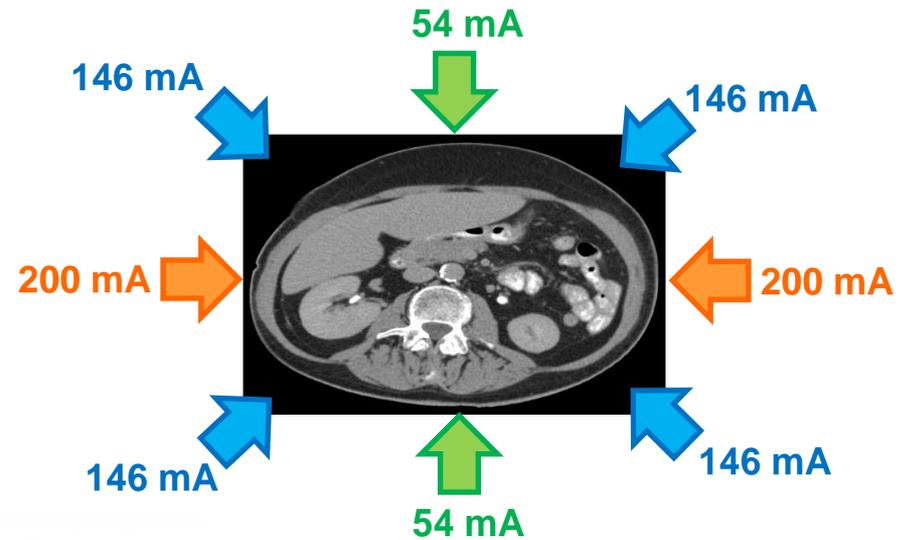
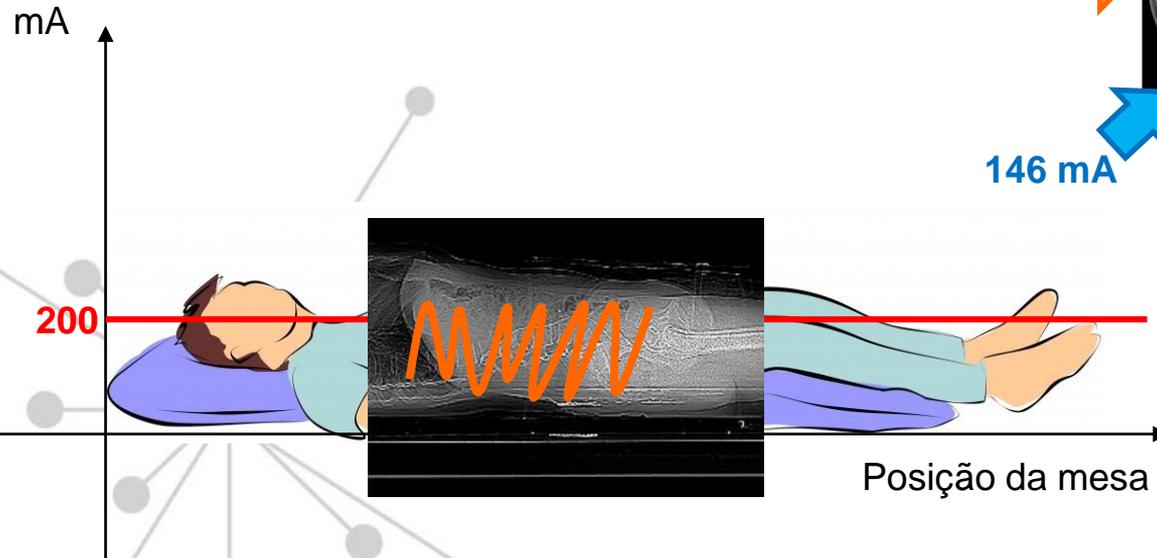
Mudança em mA em diferentes projeções angulares

Modula a corrente para cada fatia  
Tempo real (Siemens; Philips)  
Radiografia de projeção (GE; Toshiba)



# Modulação de corrente

Angular



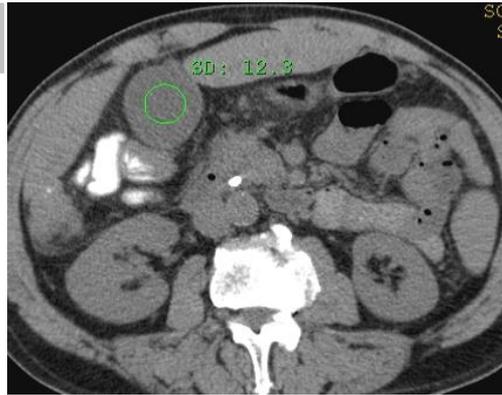
# Modulação de corrente

Angular

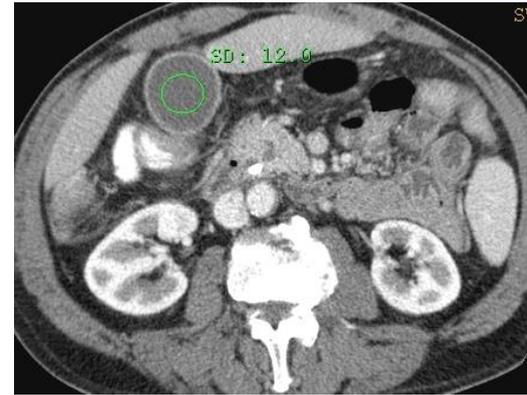
Fixa = 200 mAs

Angular = 159 mAs

SD = 12,3

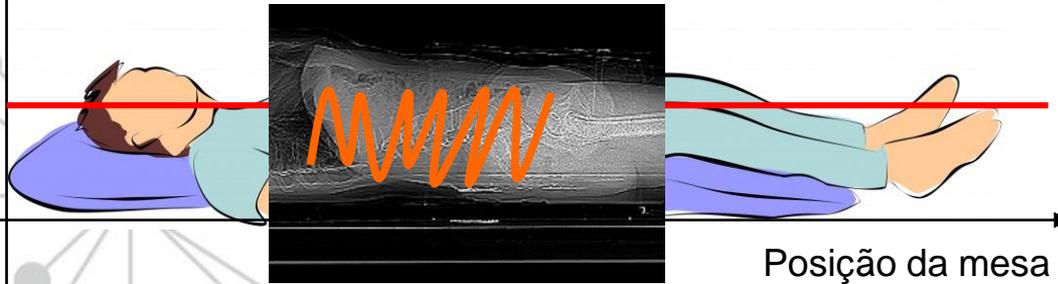


SD = 12,0



mA

200

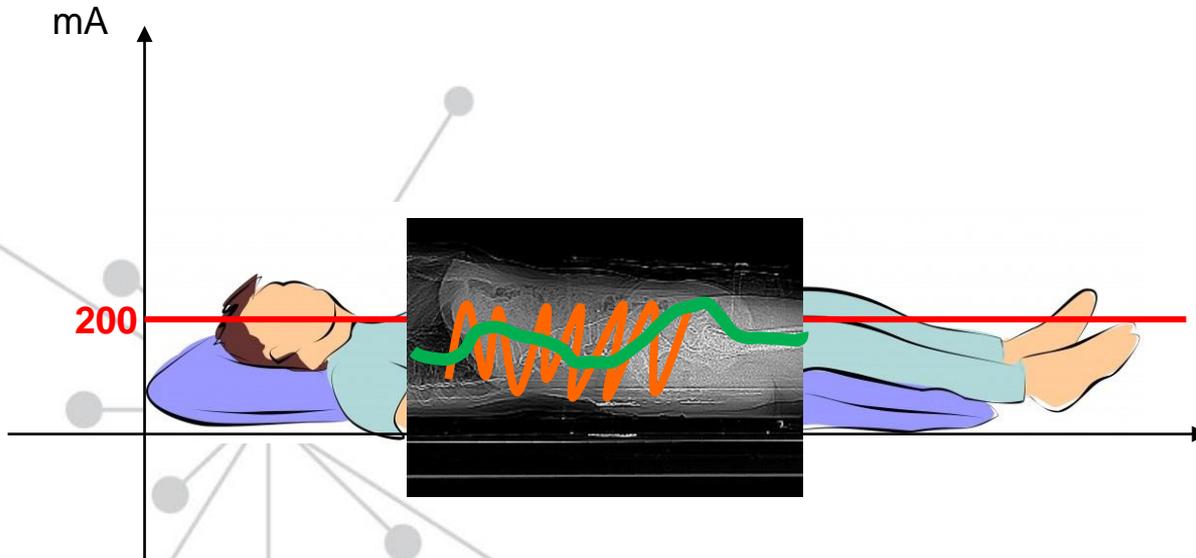


# Modulação de corrente

Combinada

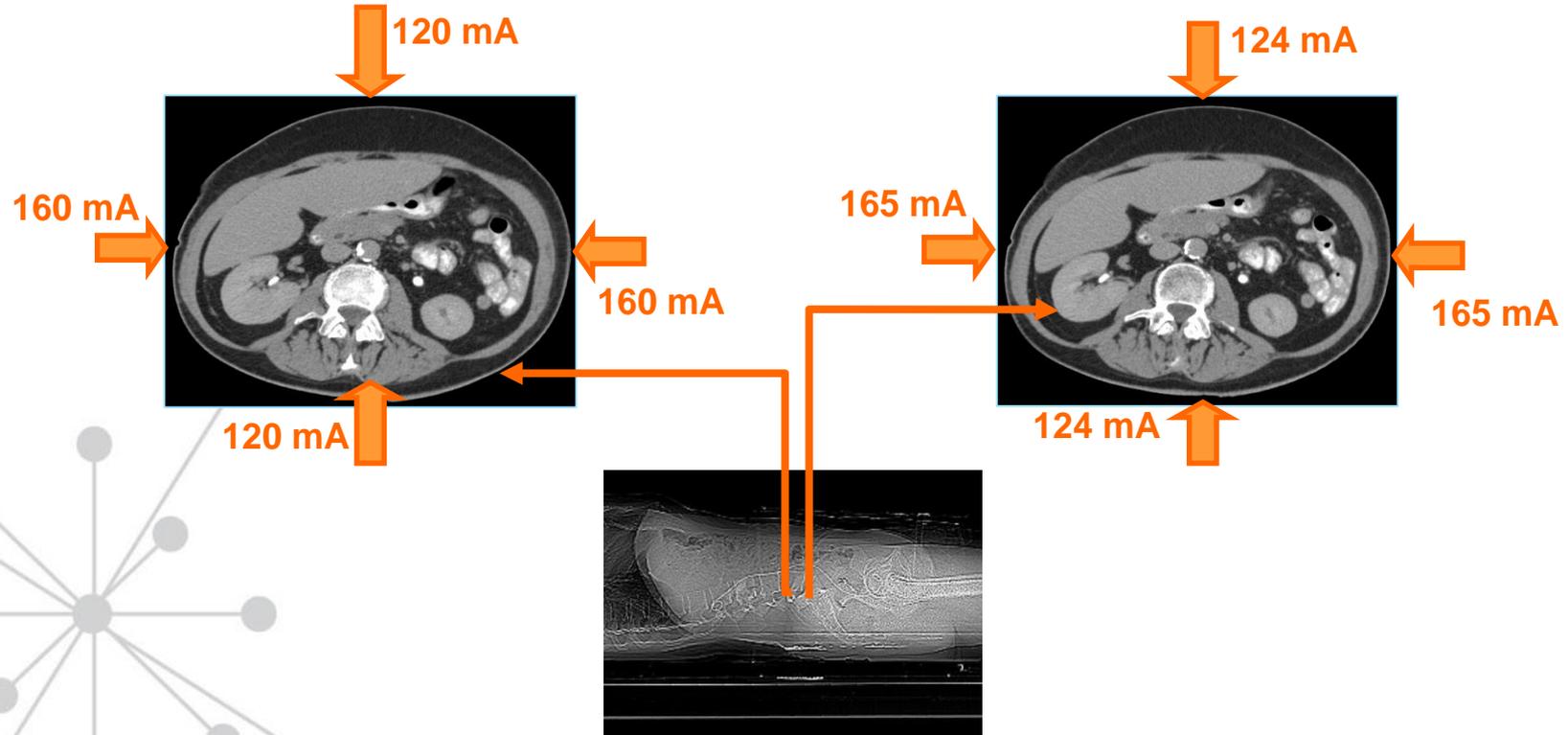
Combina técnicas de modulação angular e longitudinal

Pode fornecer redução adicional da dose de radiação em comparação ao uso separado de técnicas de modulação



# Modulação de corrente

Combinada



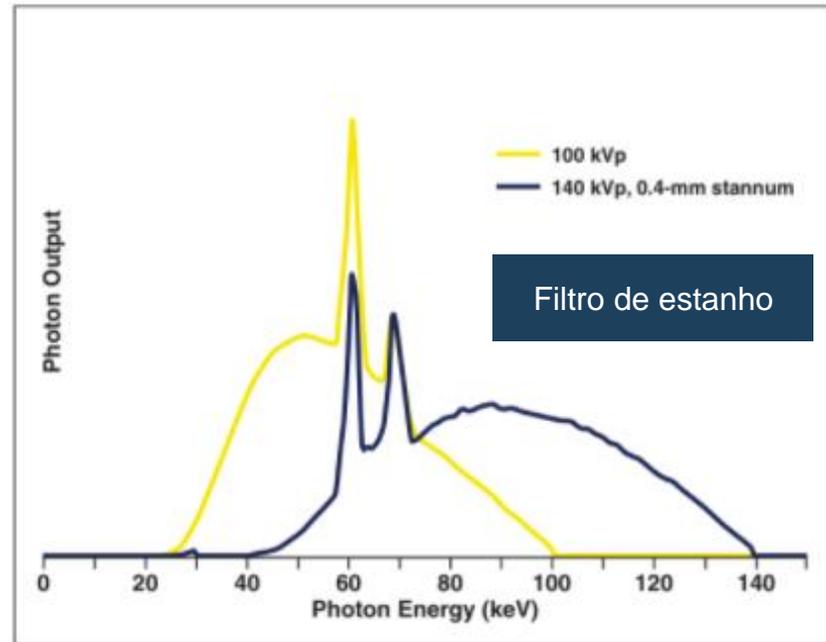
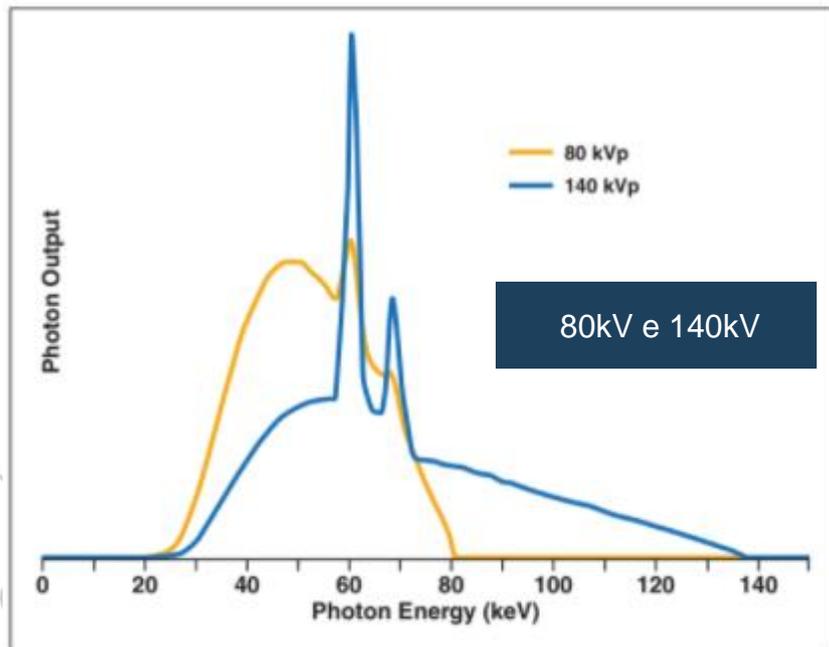
A importância da centralização adequada do paciente no *gantry* é fundamental para a operação ideal do AEC



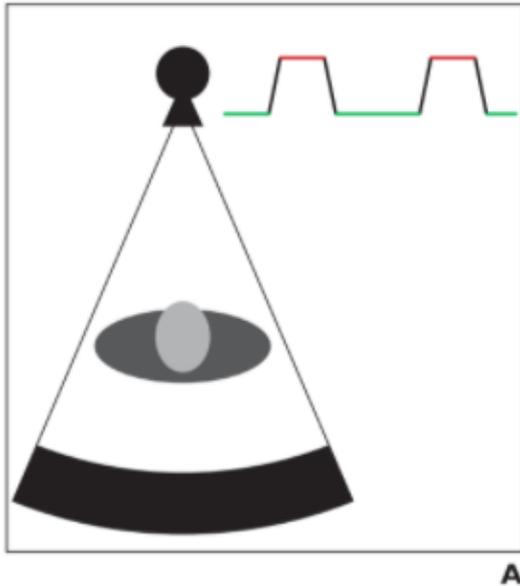
- ❖ Altura da mesa
- ❖ Evitar alturas muito baixas ou muito altas
- ❖ Centralização lado a lado
- ❖ Evitar colocar o paciente de lado da mesa
- ❖ A descentralização pode levar a artefatos e cálculo incorreto dos mAs necessários

# Dupla energia

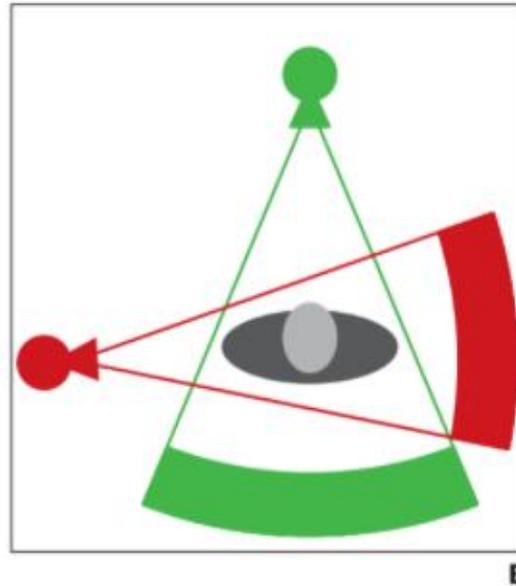
## Espectros



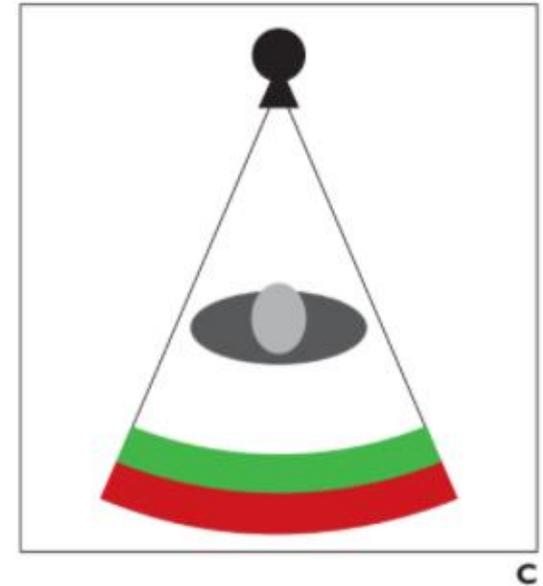
## Configurações



Troca rápida de tensão



Dois conjuntos

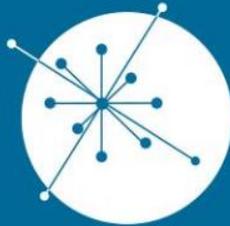


Duas camadas de detector

# Bibliografia

- RAJIAH, Prabhakar; PARAKH, Anushri; KAY, Fernando; BARUAH, Dhiraj; KAMBADAKONE, Avinash R.; LENG, Shuai. Update on Multienergy CT: physics, principles, and applications. **Radiographics**, [S.L.], v. 40, n. 5, p. 1284-1308, set. 2020. Radiological Society of North America (RSNA). <http://dx.doi.org/10.1148/rg.2020200038>.
- JOHNSON, Thorsten R. C.. Dual-Energy CT: general principles. **American Journal Of Roentgenology**, [S.L.], v. 199, n. 5, p. 3-8, nov. 2012. American Roentgen Ray Society. <http://dx.doi.org/10.2214/ajr.12.9116>.
- RYDBERG, Jonas; LIANG, Yun; TEAGUE, Shawn D. Fundamentals of Multichannel CT. **Seminars In Musculoskeletal Radiology**, [S.L.], v. 8, n. 2, p. 137-146, maio 2004. Georg Thieme Verlag KG. <http://dx.doi.org/10.1055/s-2004-829485>.
- BOONE, John M.; MCCOLLOUGH, Cynthia H.. Computed tomography turns 50. **Physics Today**, [S.L.], v. 74, n. 9, p. 34-40, 1 set. 2021. AIP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1063/pt.3.4834>.
- Bushberg, J. T., Seibert, J. A., Leidholdt, E. M., & Boone, J. M. (2011). The essential physics of medical imaging (3rd ed.). Lippincott Williams and Wilkins.

# Obrigado!



GRUPO DE  
**DOSIMETRIA  
DAS RADIAÇÕES**  
e FÍSICA MÉDICA

---

IFUSP - Instituto de Física da USP