

Equipamentos de Imagiologia Médica

2021/2022

Teresa Sousa

Aula 3



Lic. Eng. Biomédica
Bioeletrónica

Imagiologia de transmissão

Princípios físicos

Radiografia

Tomografia Computorizada (TC)

Deteção dos raios X

Métodos analógicos

- Ecrãs fluorescentes
- Filme radiográfico
- Ecrã fluorescente + filme radiográfico

Métodos semi-digitais

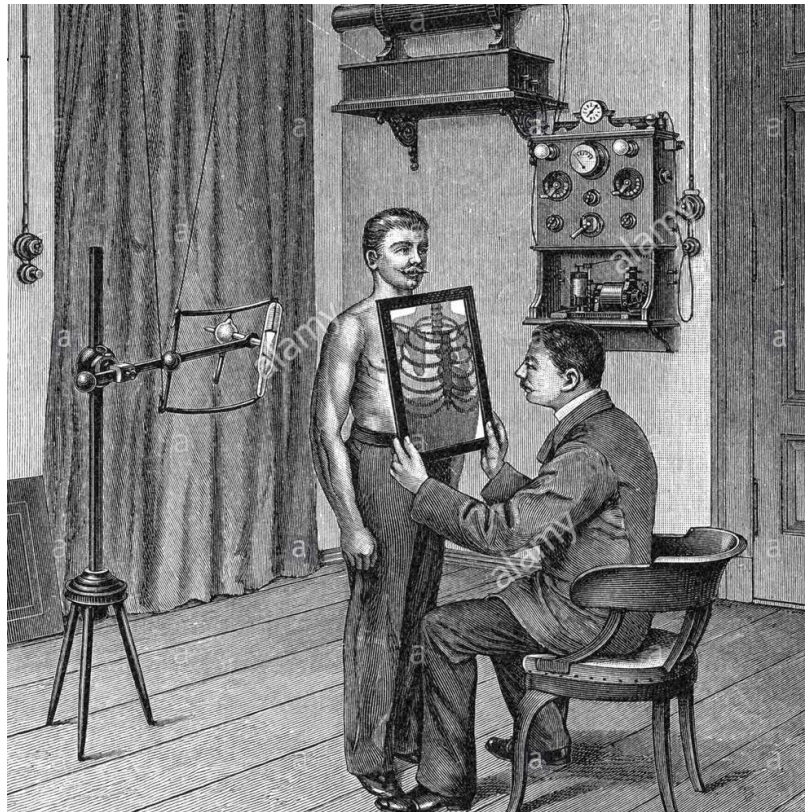
- Digitalização do filme à posteriori
- Painéis fosforescentes foto-estimulados

Métodos digitais

- Detetores digitais

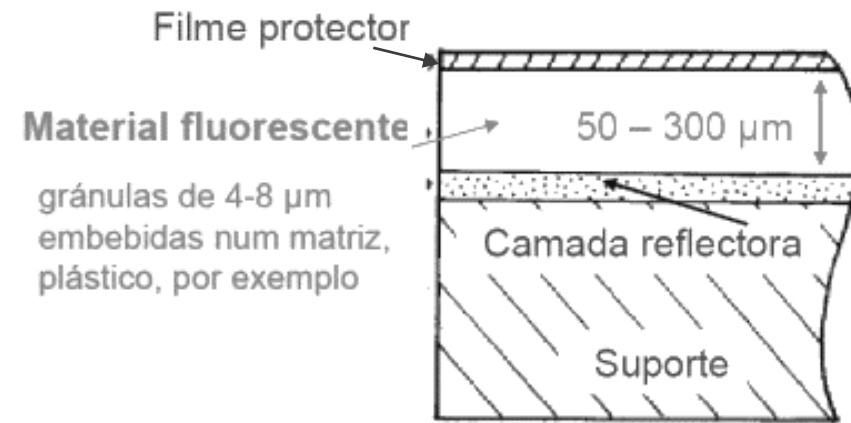
Deteção analógica de raios X

Ecrãs fluorescentes



Baseada em materiais capazes de emitir luz visível quando expostos a radiação X.

- A imagem é obtida em tempo real
- Perigo acrescido devido à exposição
- Uso de material fluorescente eficaz na deteção de raios X (o tungstato de cálcio (CaWO_4) tem vindo a ser substituído pelo gadolínio e tungsténio)



Deteção analógica de raios X

Filme radiográfico

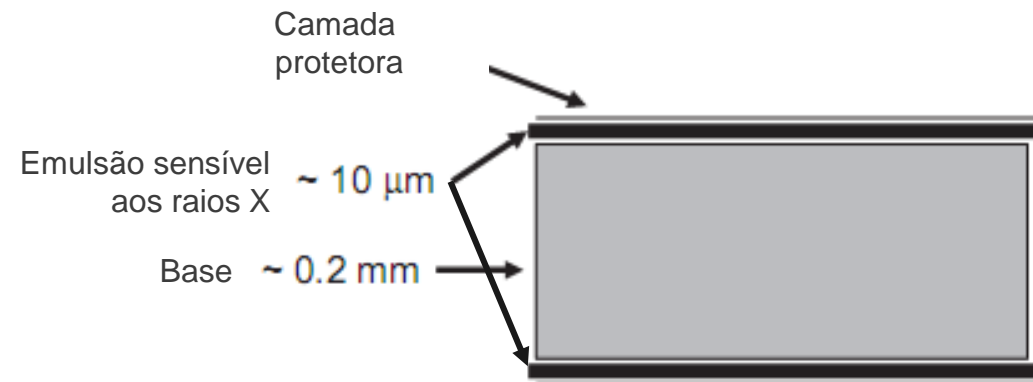


Cristais de halogeneto de prata ($\text{AgBr} + \text{AgCl}$ ou AgI) em emulsão (gelatina fotográfica).

O filme não é aplicado sozinho na deteção de raios X devido à baixa eficiência de absorção (~2 a 6%).

Usa-se em combinação com os ecrãs fluorescentes que funcionam como intensificadores de imagem.

Imagem latente (precisa de ser revelada).



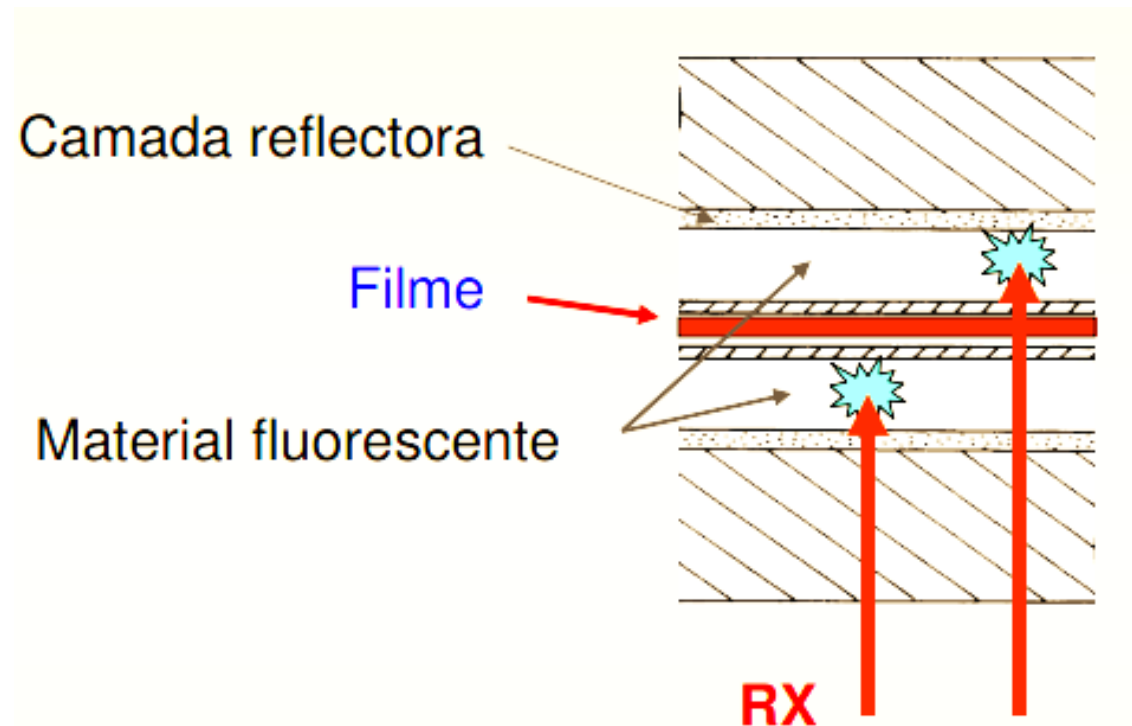
Deteção analógica de raios X

Filme radiográfico com ecrã fluorescente

Probabilidade de interação dos raios X:

- No filme ~2%
- No ecrã fluorescente ~50%

O ecrã absorve os raios X e emite luz com $\lambda \approx 400\text{-}500\text{ nm}$. O filme absorve essa luz criando uma imagem latente que se torna visível depois deste ser revelado quimicamente (à semelhança do filme fotográfico).

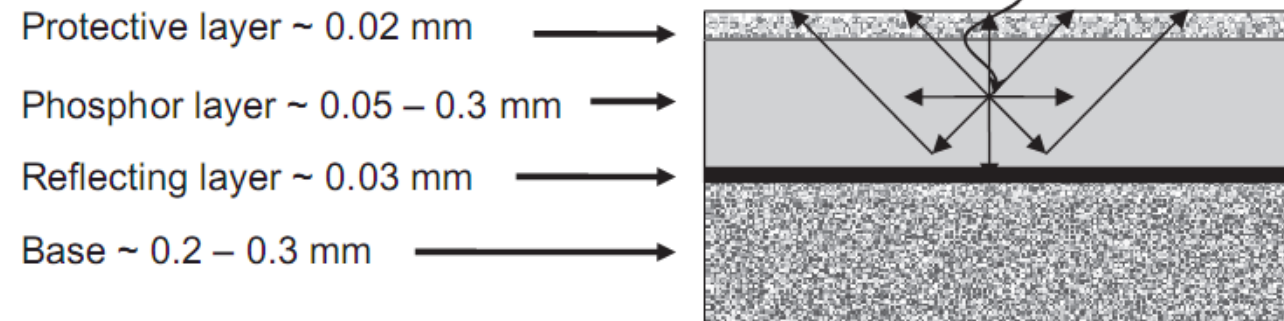


Deteção analógica de raios X

Filme radiográfico com ecrã fluorescente

Ecrã intensificador:

Constituído por compostos cintiladores de n° atómico elevado, emite luz visível quando absorve um raio X, o que aumenta muito a sensibilidade do detetor aos raios X.



Camada protetora: transparente aos raios X

Camada fluorescente: converte raios X em luz através do efeito fotoelétrico

Camada refletora: para redirecionar a luz emitida

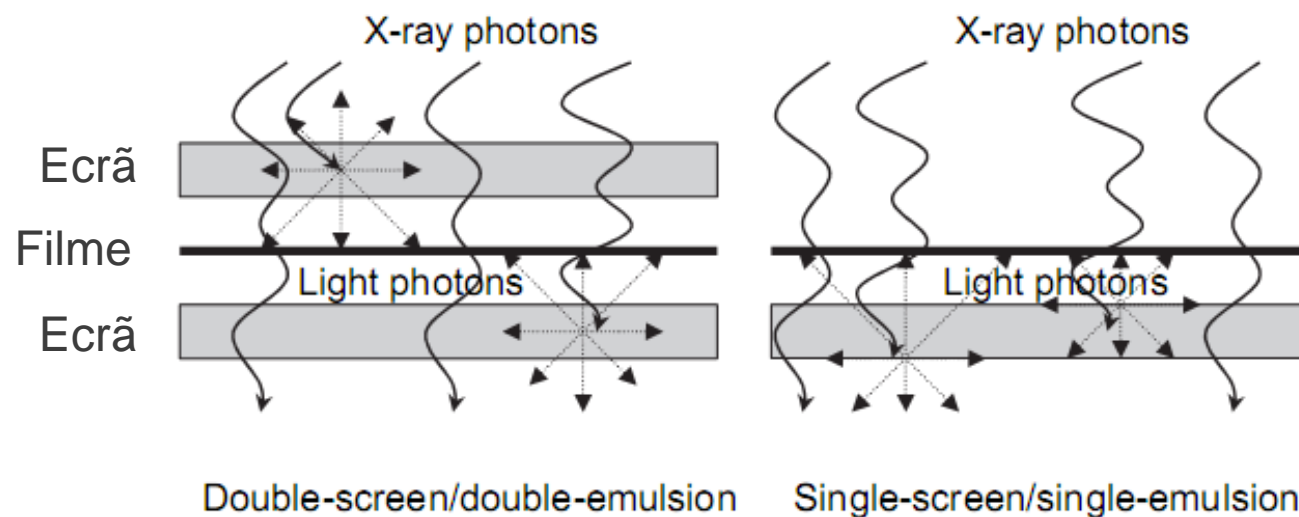
Base: responsável pela estabilidade mecânica

Deteção analógica de raios X

Filme radiográfico com ecrã fluorescente

Ecrã intensificador:

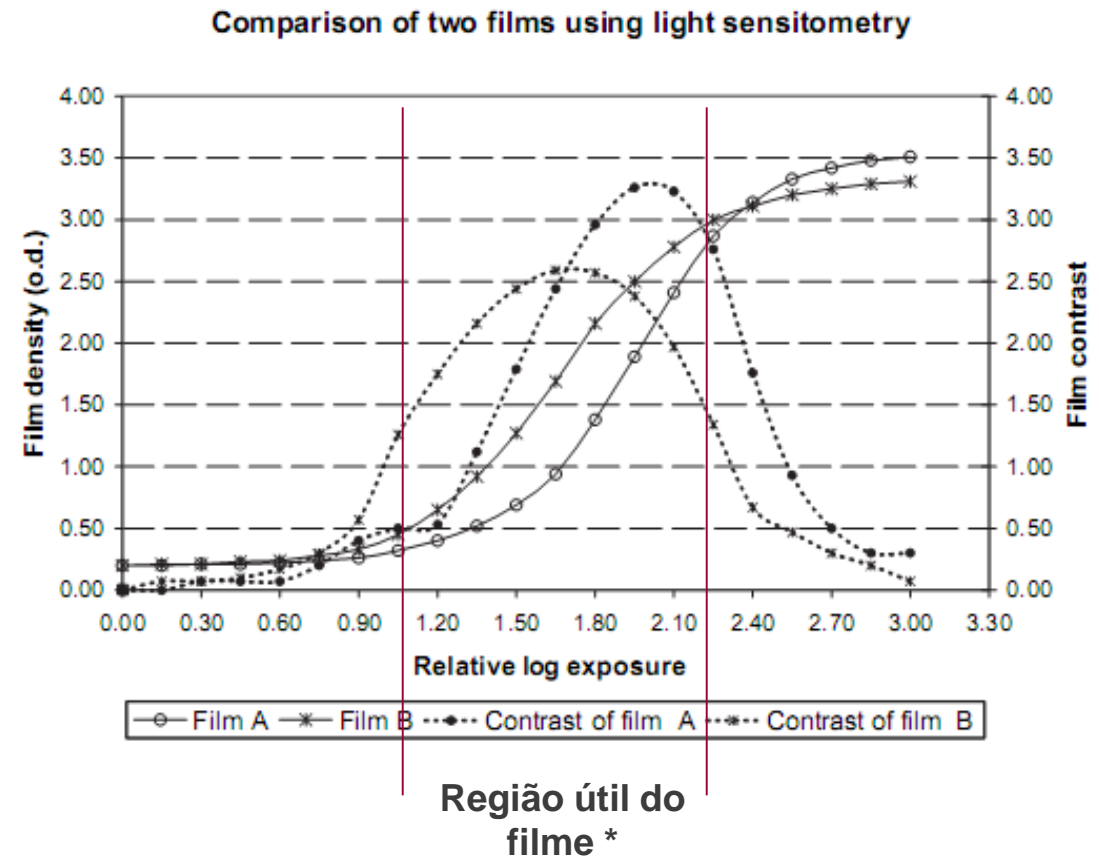
Constituído por compostos cintiladores de n° atómico elevado, emite luz visível quando absorve um raio X, o que aumenta muito a sensibilidade do detetor.



Deteção analógica de raios X

Filme radiográfico com ecrã fluorescente

A relação entre exposição e densidade ótica do filme não é linear, exceto num intervalo estreito de exposições onde há uma aproximação à linearidade. Fora deste intervalo, o contraste é baixo. Limitação técnica da emulsão.



Deteção dos raios X

Métodos analógicos

- Ecrãs fluorescentes
- Filme radiográfico
- Ecrã fluorescente + filme radiográfico

Métodos semi-digitais

- Digitalização do filme à posteriori
- Painéis fosforescentes foto-estimulados

Métodos digitais

- Detetores digitais

Qual a principal diferença entre a radiografia computadorizada e a radiografia digital?

Deteção semi-digital de raios X

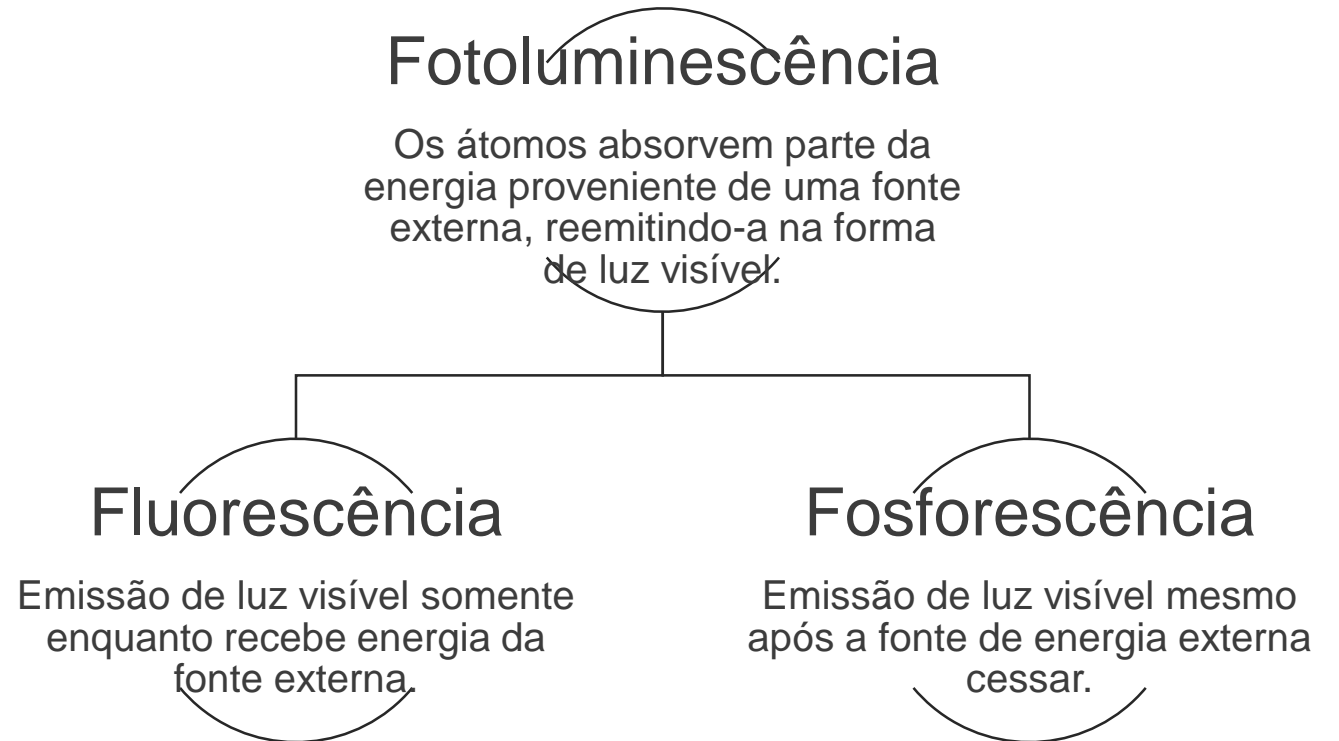
Digitalização do filme radiográfico

Aquisição da imagem com filme radiográfico. Posteriormente é usado um scanner comum para o processamento digital.



Deteção semi-digital de raios X

Painéis fosforescentes foto-estimulados
Radiografia computadorizada



Deteção semi-digital de raios X

Painéis fosforescentes foto-estimulados
Radiografia computadorizada

Fluorescência

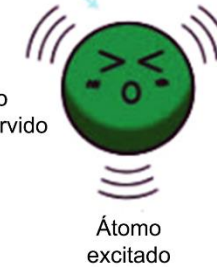
Sem a presença de
fonte externa de
energia



Estado Basal

Fonte de energia externa
(fotões de elevada energia)

Fotão absorvido



Átomo
excitado



Estado Basal

Fotão emitido

Luz visível
(fotões com menor
energia)

Sem a presença de
fonte externa de
energia



Estado Basal

Fosforescência

Sem a presença de
fonte de externa de
energia



Estado basal

Fonte de energia externa
(fotões de elevada energia)

Fotão absorvido



Átomo
excitado



Estado basal

Fotão emitido

Luz visível
(fotões com menor
energia)

Sem a presença de
fonte de externa de
energia

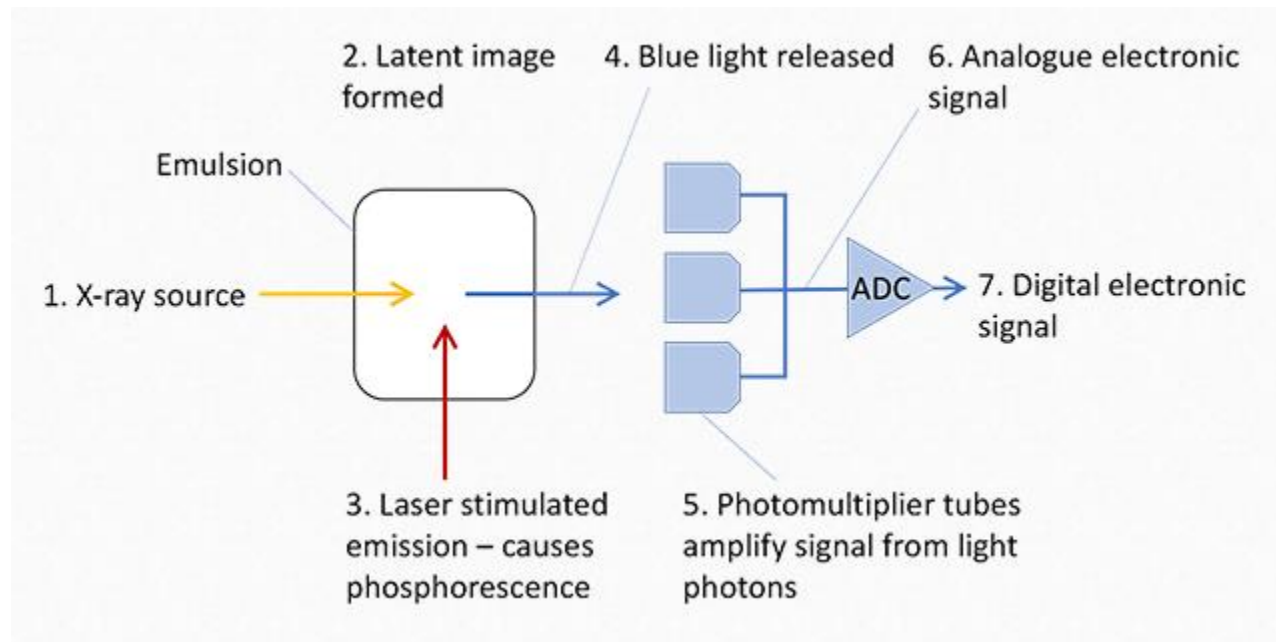


Estado basal

Deteção semi-digital de raios X

Painéis fosforescentes foto-estimulados
Radiografia computadorizada

É usado um painel fosforescente em que se forma uma imagem latente que é revelada por um scan a laser. Também conhecida como *Computed Radiography (CR)*.



1 e 2. Os raios X são absorvidos pelo painel fosforescente (normalmente BaFBr:Eu²⁺). Os elétrons que absorvem os fótons (energia) transitam para um estado metaestável de energia onde ficam temporariamente 'presos'.

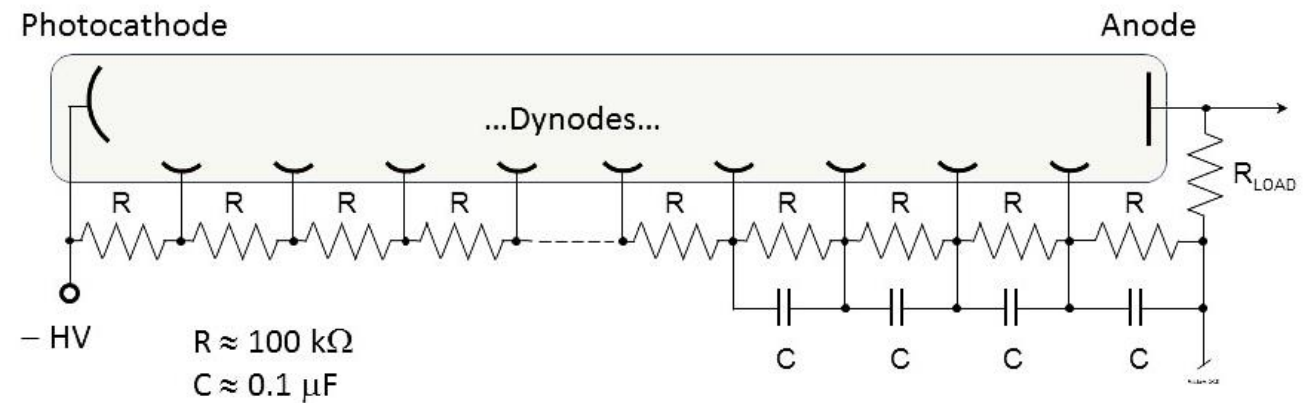
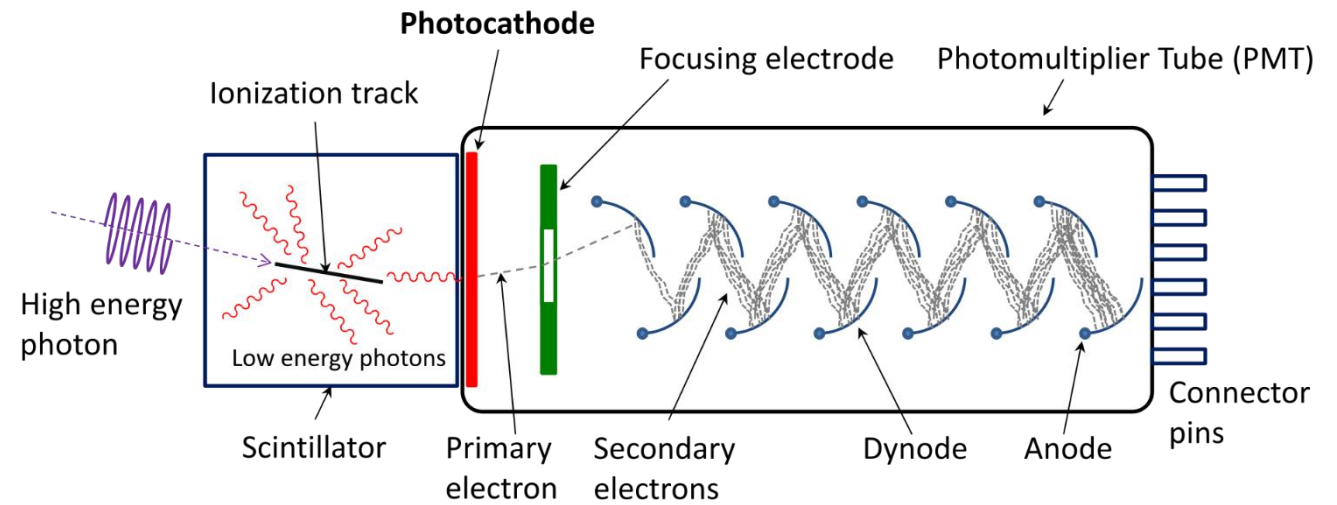
3 e 4. Estes elétrons retornariam lentamente ao seu estado fundamental. O processo é acelerado usando um laser para estimular os elétrons presos. Assim, os elétrons voltam de imediato ao seu estado fundamental libertando a energia armazenada sobre a forma de luz visível.

5. Os fótons de luz visível são então detetados pelo fotomultiplicador (deteta e amplifica a radiação incidente).

Deteção semi-digital de raios X

Painéis fosforescentes foto-estimulados
Radiografia computadorizada

É usado um painel fosforescente em que se forma uma imagem latente que é revelada por um scan a laser.
Também conhecida como *Computed Radiography (CR)*.



5. Os fótons de luz visível são então detetados pelo **fotomultiplicador** (deteta e amplifica a radiação incidente).

Deteção dos raios X

Métodos analógicos

- Ecrãs fluorescentes
- Filme radiográfico
- Ecrã fluorescente + filme radiográfico

Métodos semi-digitais

- Digitalização do filme à posteriori
- Painéis fosforescentes foto-estimulados

Métodos digitais

- Detetores digitais

Deteção digital de raios X

Radiografia digital

Usa um detetor que converte a energia dos raios X em sinal elétrico (detetores eletrônicos e ausência de cassete radiográfica).

Conversão
direta

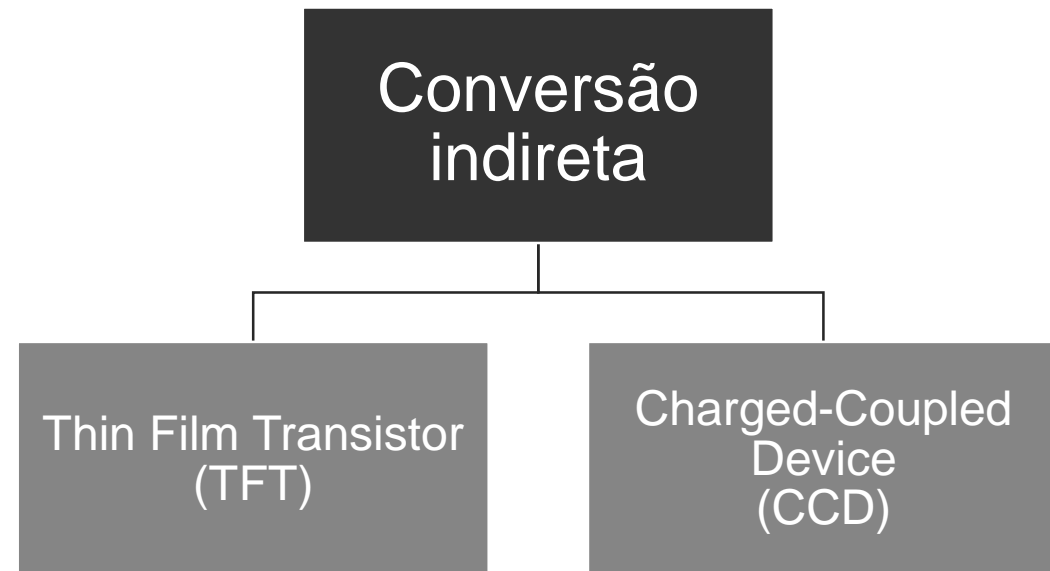
Conversão
indireta

Deteção digital de raios X

Conversão Indireta

Usam um cintilador para converter os raios X em luz visível.

De seguida, a luz visível é convertida em sinal elétrico através de um array de fotodetetores.



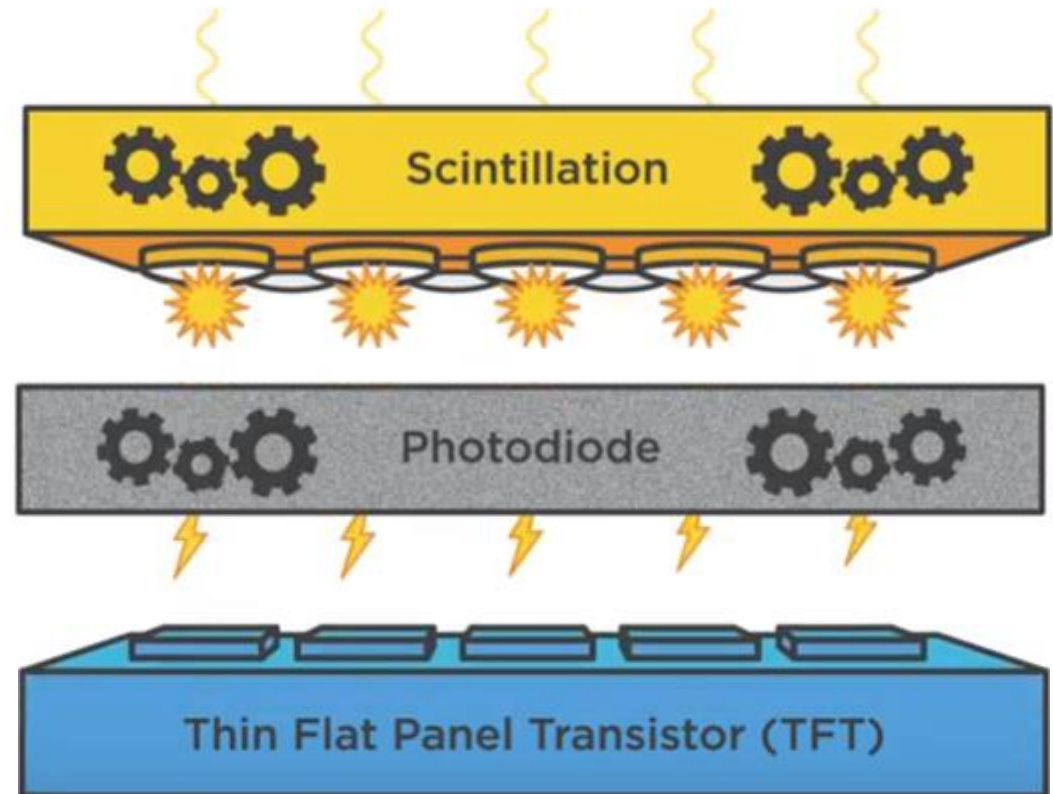
Deteção digital de raios X

Conversão Indireta

TFT (*thin film transistors technology*)

Transístor de película fina

TFT

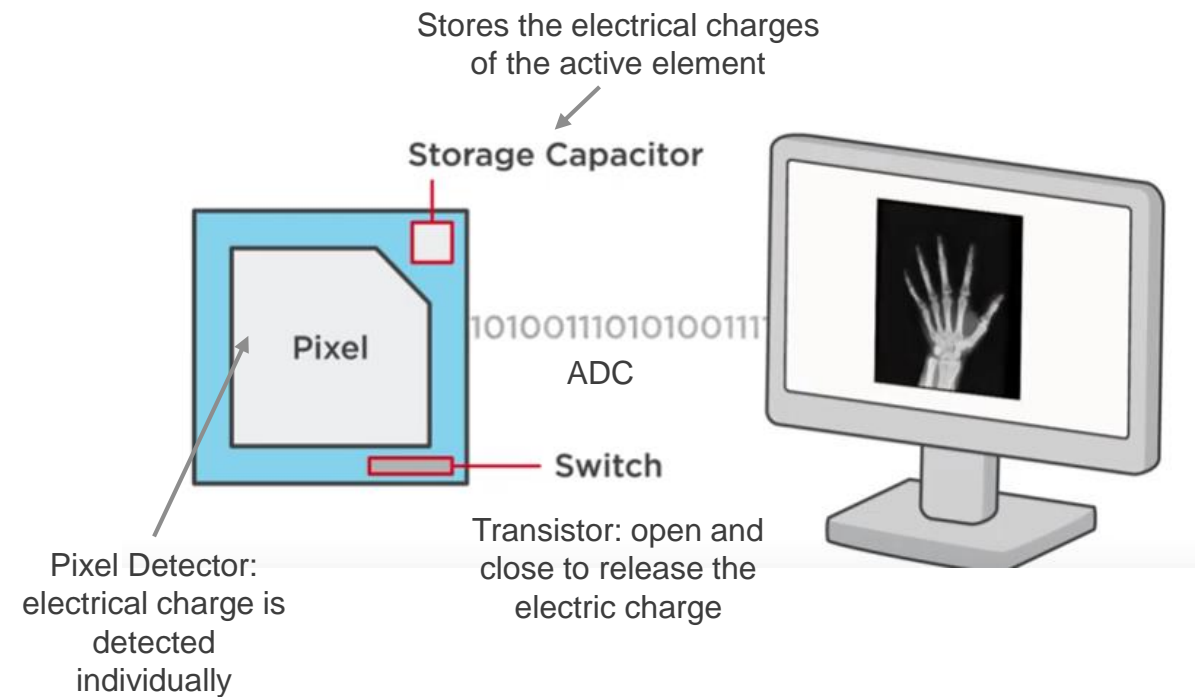
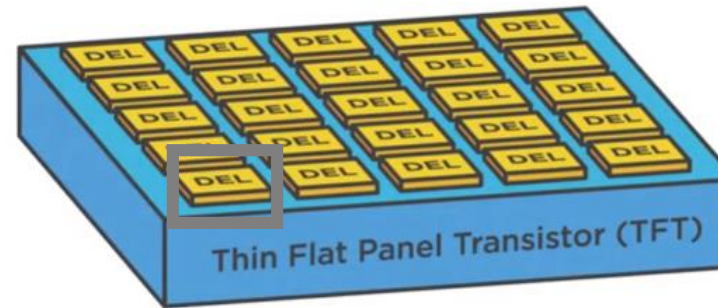


Deteção digital de raios X

Conversão Indireta
TFT (*thin film transistors technology*)
Transístor de película fina

Permite acumular a carga criada por muitos
fotões durante a exposição e depois ler tudo de uma
só vez (sinal/ruído ↑)

TFT: detector elements matrix



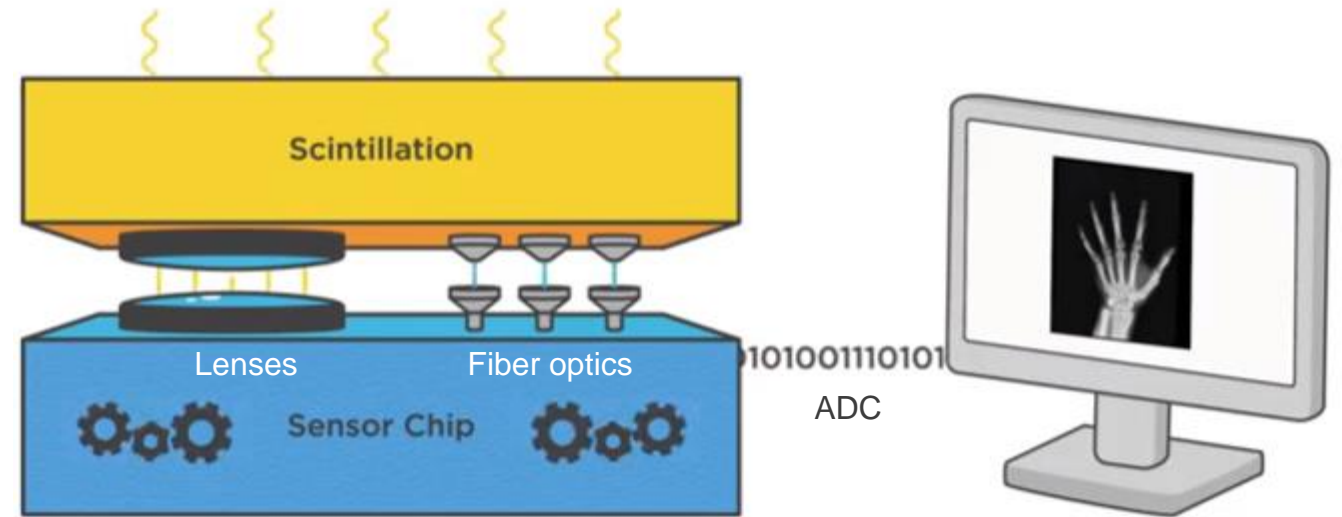
Deteção digital de raios X

Conversão Indireta
CCD (*charged-coupled device*)
Dispositivo de carga acoplada

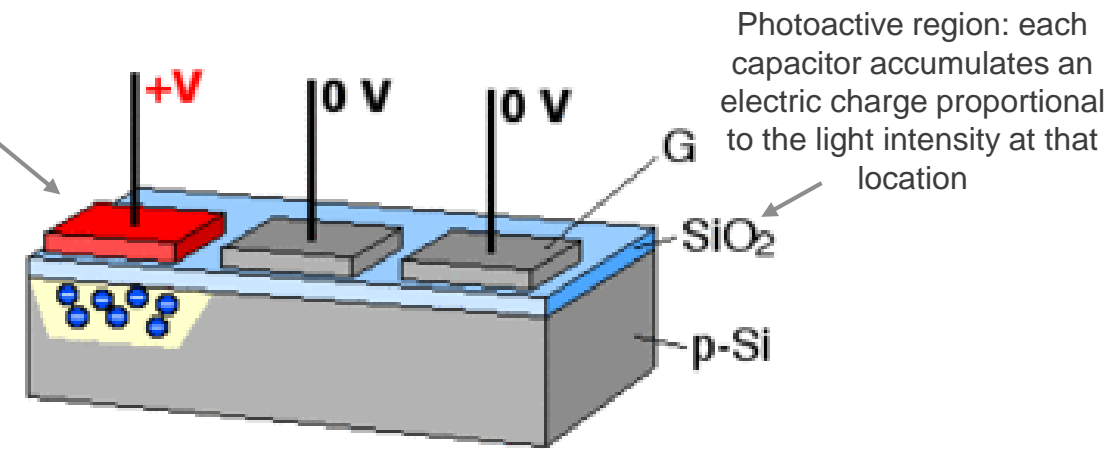
Não necessita de componentes eletrônicos no campo de ionização (menor número de falhas devido a danificação do sistema).

Aplicação limitada pelo tamanho reduzido do chip.

CCD



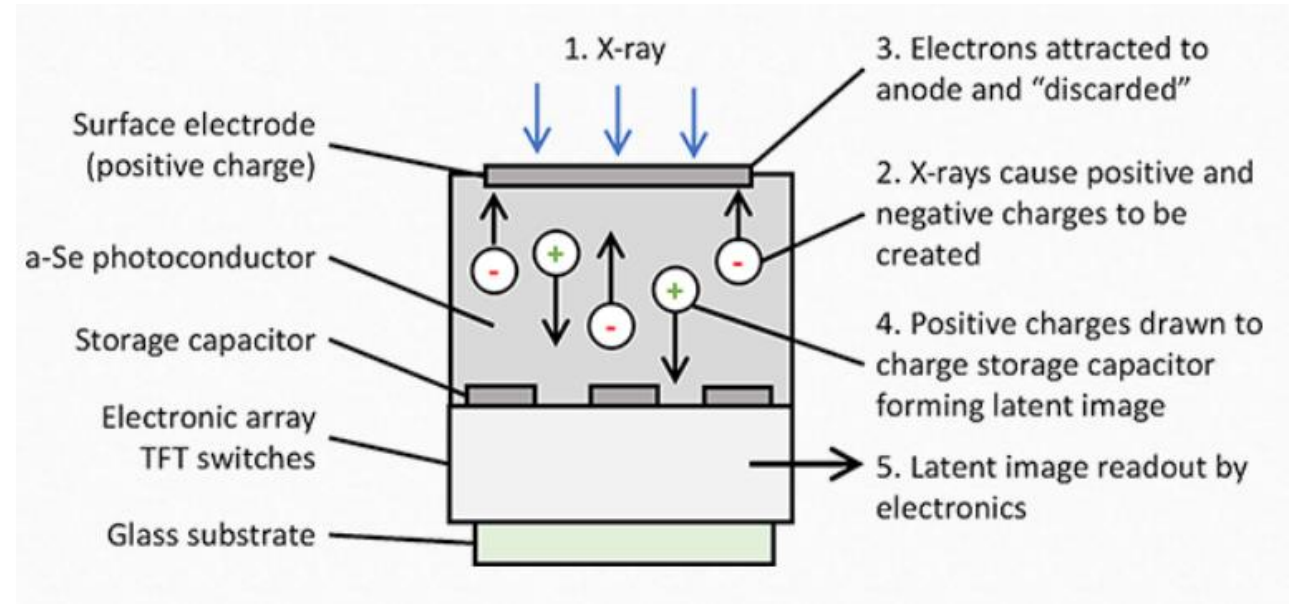
Applying positive voltage to the gate electrode in the correct sequence transfers the charge packets.



Deteção digital de raios X

Conversão Direta

Os raios X interagem diretamente com um material fotocondutor.



1. X ray photon absorbed by a-Se photoconductor.
2. Electrical charge carriers (negative electrons and positive holes) are created.
3. A surface electrode at positive potential attracts and discards all the electrons.
4. The positive charges are drawn to the charge storage capacitor forming the latent image.
5. The latent image is then read out sequentially by gating each row of TFT switches (each TFT corresponds to one pixel) in turn to read the charge pattern and transfer to a bank of charge sensitive amplifiers.
6. The resulting voltage signal is then digitized and transferred to the computer system where the DR image is built up.

Deteção digital de raios X

Vantagens

- Eficiência quântica mais alta (~3 vezes)
→ menor dose ao paciente e tempo de aquisição mais curto.
- Gama dinâmica até 14 bits (16,000 graduações na escala cinzenta)
→ apenas com uma exposição podem ser visualizadas detalhes com o nível de contraste muito diferente (o contraste pode ser ajustado diretamente na imagem).
- Imagem na forma digital
→ facilidade de armazenamento, consulta remota, processamento digital da imagem.
- Estudos dinâmicos tornam-se possíveis (até ~30 frames/s).

Deteção de raios X

Resumo

- Filme radiográfico: alta resolução (~ 0.1 mm) mas baixa eficiência ($\sim 1\%$); gama dinâmica bastante estreita; a imagem é latente – precisa de ser revelada; usa-se principalmente em cassetes com painéis fluorescentes.
- Painéis fluorescentes + filme radiográfico: os painéis absorvem os raios X com eficiência de $\sim 20\text{-}50\%$; a imagem é registada no filme; existe sempre tempo de espera entre a exposição e obtenção da imagem; estudos dinâmicos não são possíveis.
- Painéis fosforescentes foto-estimulados: reutilizáveis mas continuam a ter tempo de espera, necessitam de manuseamento.
- Detetores digitais: é o futuro da radiologia, têm inúmeras vantagens apesar do preço mais elevado.

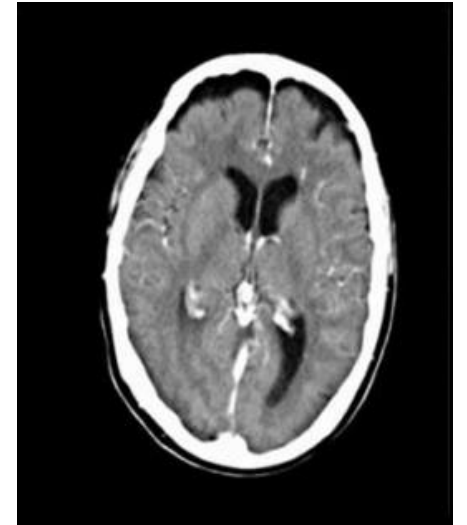
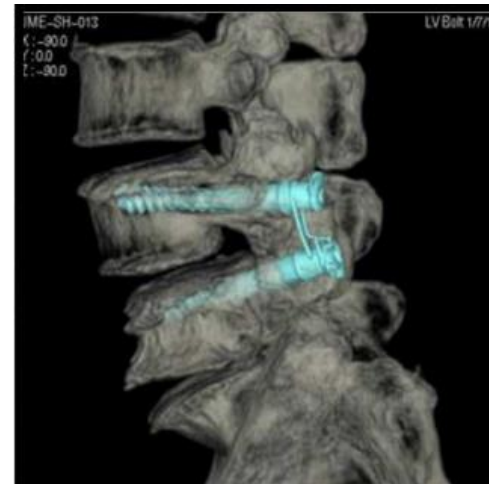
Imagiologia de transmissão

Princípios físicos

Radiografia

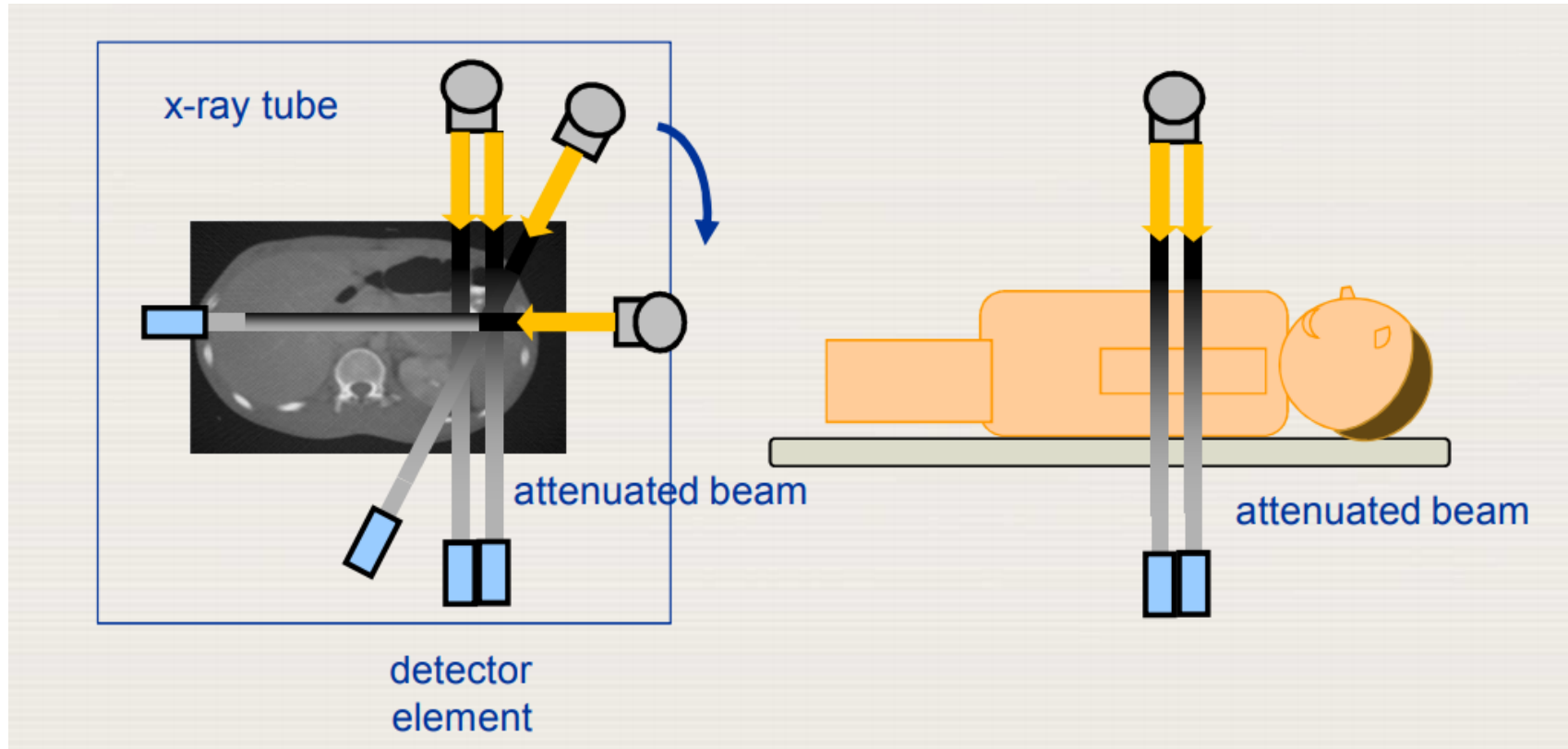
Tomografia Computorizada (TC)

Qual das imagens
resulta da TC?



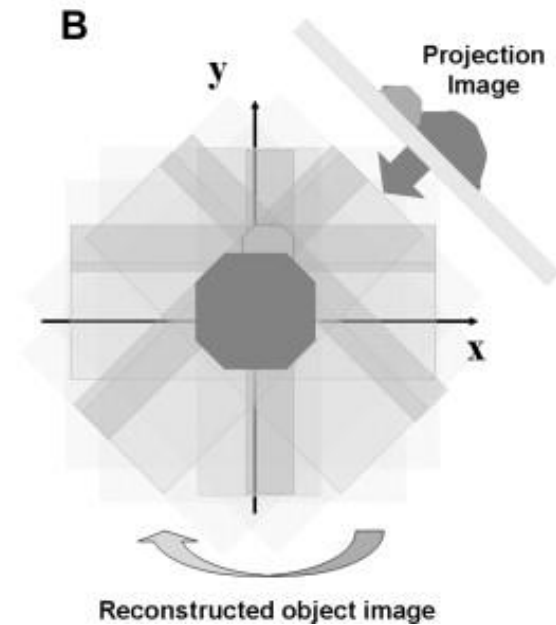
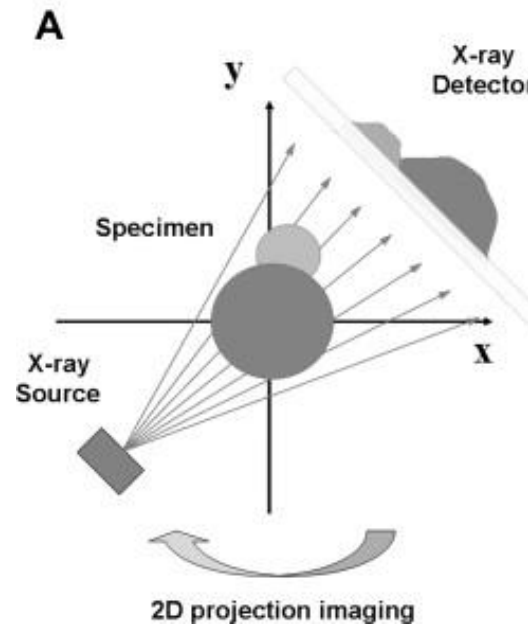
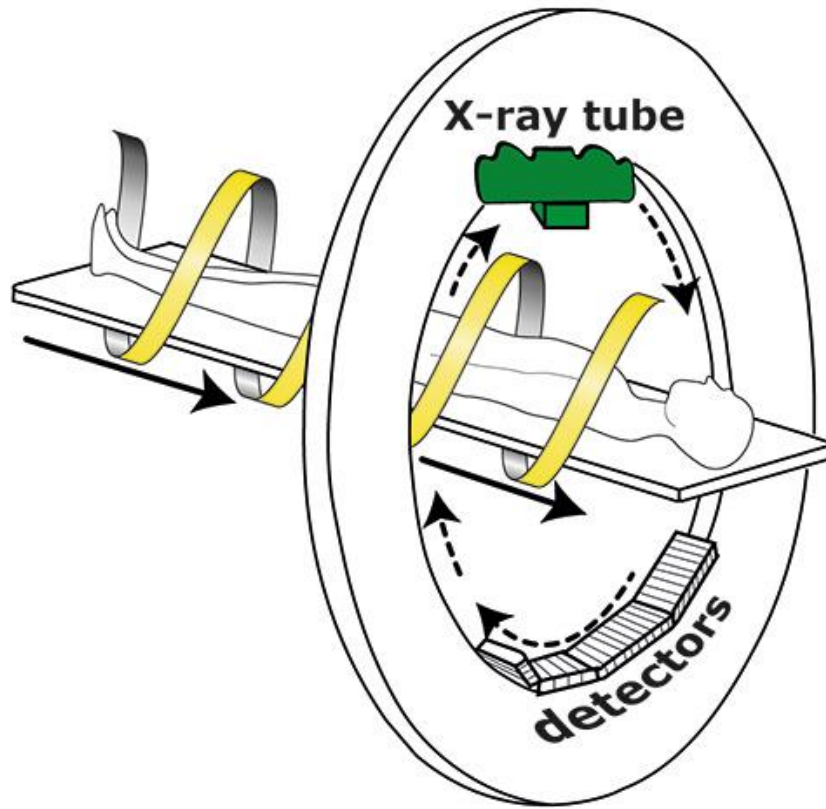
Princípios gerais da TC

Mede a quantidade de raios X que é atenuada ao atravessar o paciente em múltiplos cortes (slices/fatias).



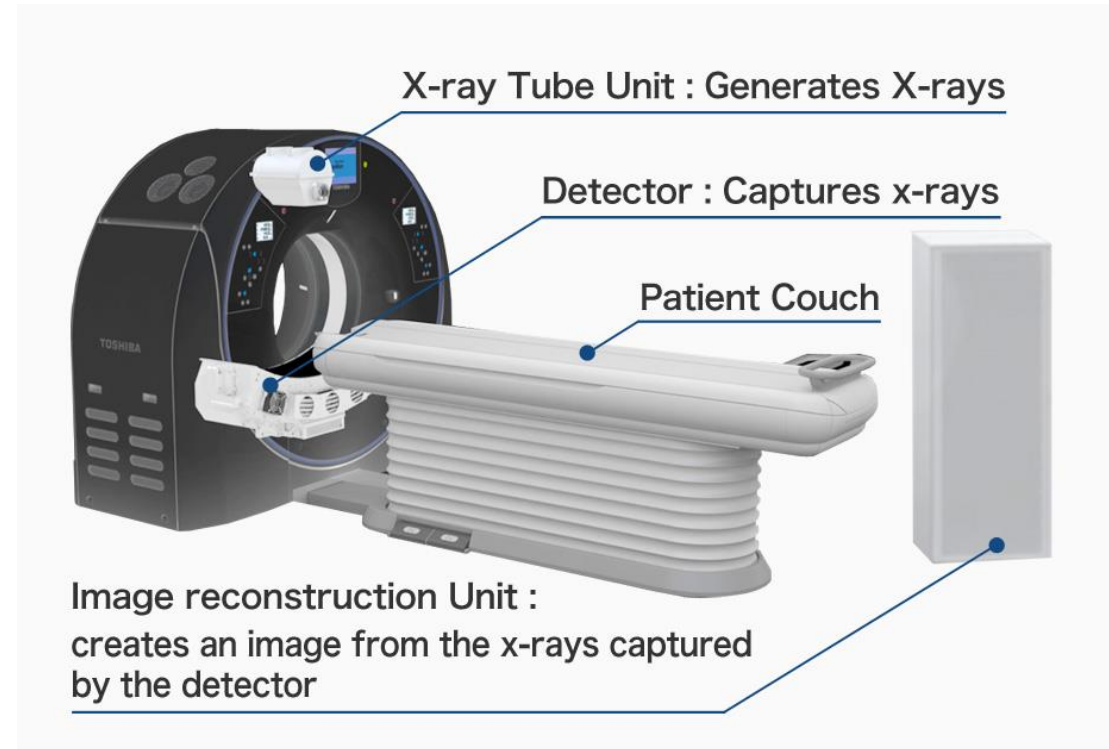
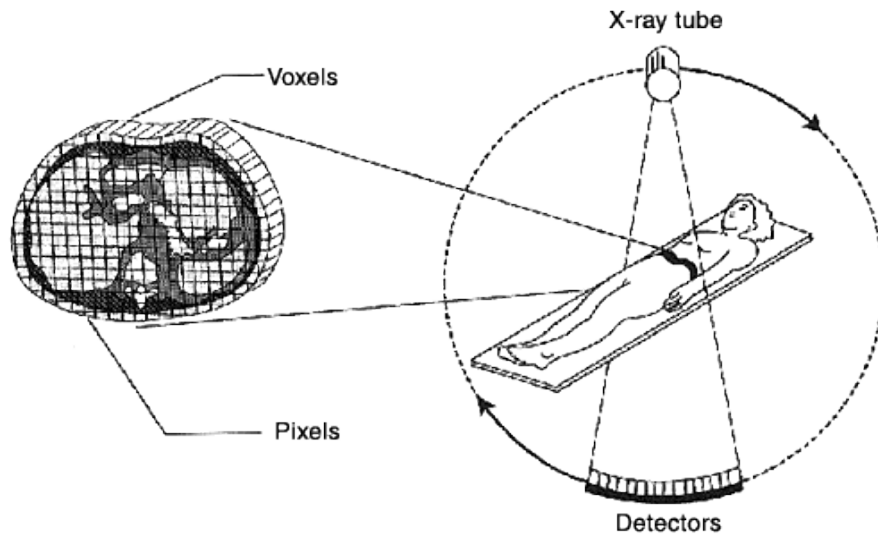
Princípios gerais da TC

Mede a quantidade de raios X que é atenuada ao atravessar o paciente em múltiplos cortes (slices/fatias).



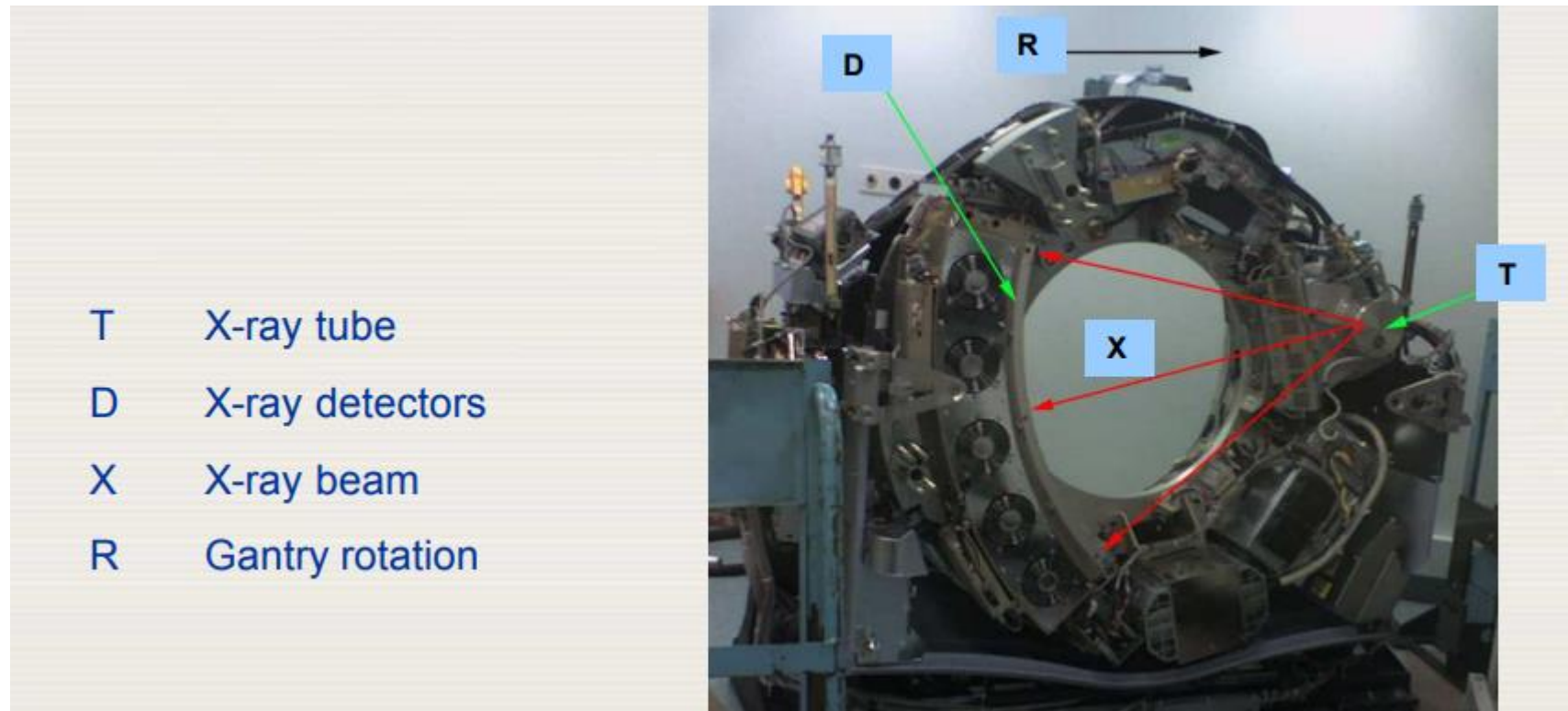
Princípios gerais da TC

Mede a quantidade de raios X que é atenuada ao atravessar o paciente em múltiplos cortes (slices/fatias).



Princípios gerais da TC

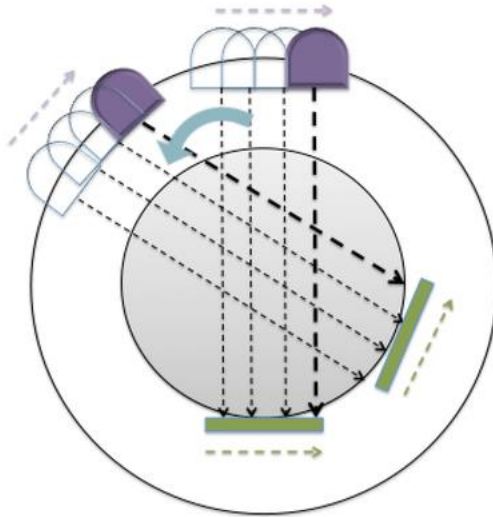
Mede a quantidade de raios X que é atenuada ao atravessar o paciente em múltiplos cortes (slices/fatias).



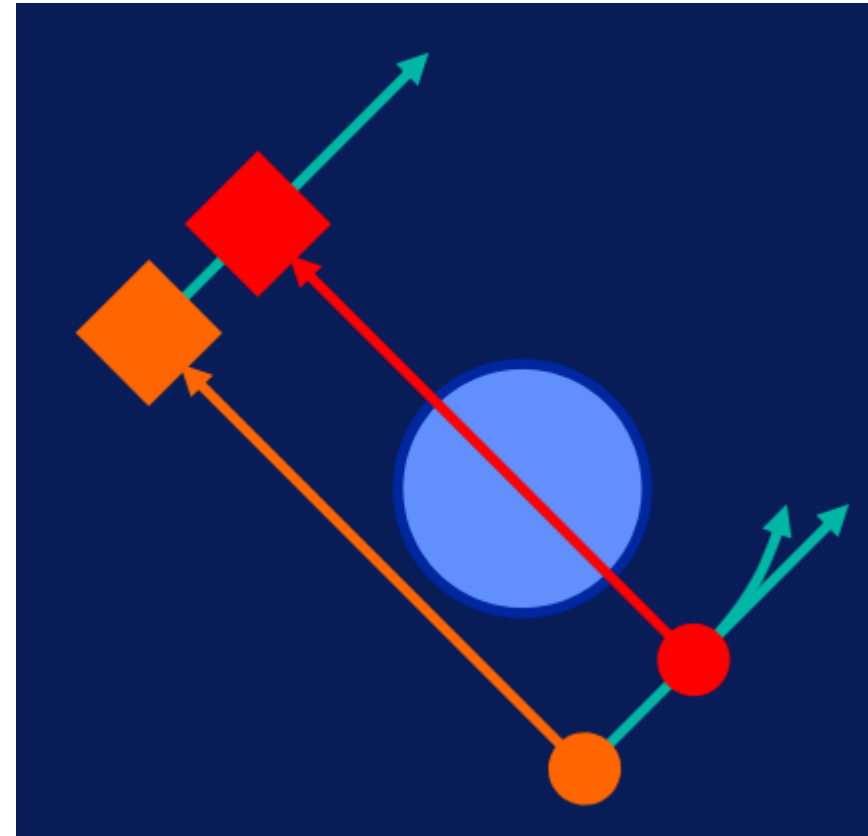
https://www.youtube.com/watch?v=ih_mTjMrrb0

Princípios gerais da TC

1ª Geração

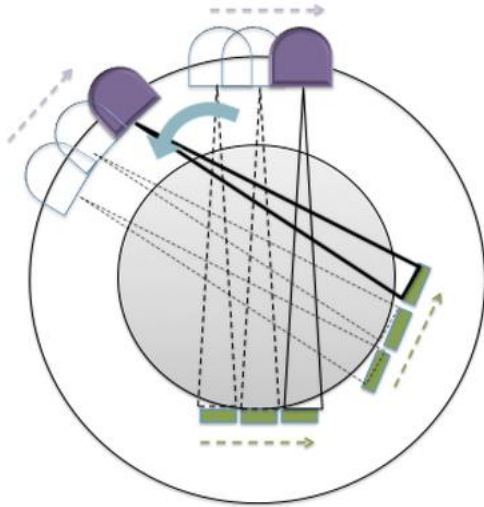


Uma fonte → um detector
Translação → Rotação
~ 4 a 5 minutos por fatia

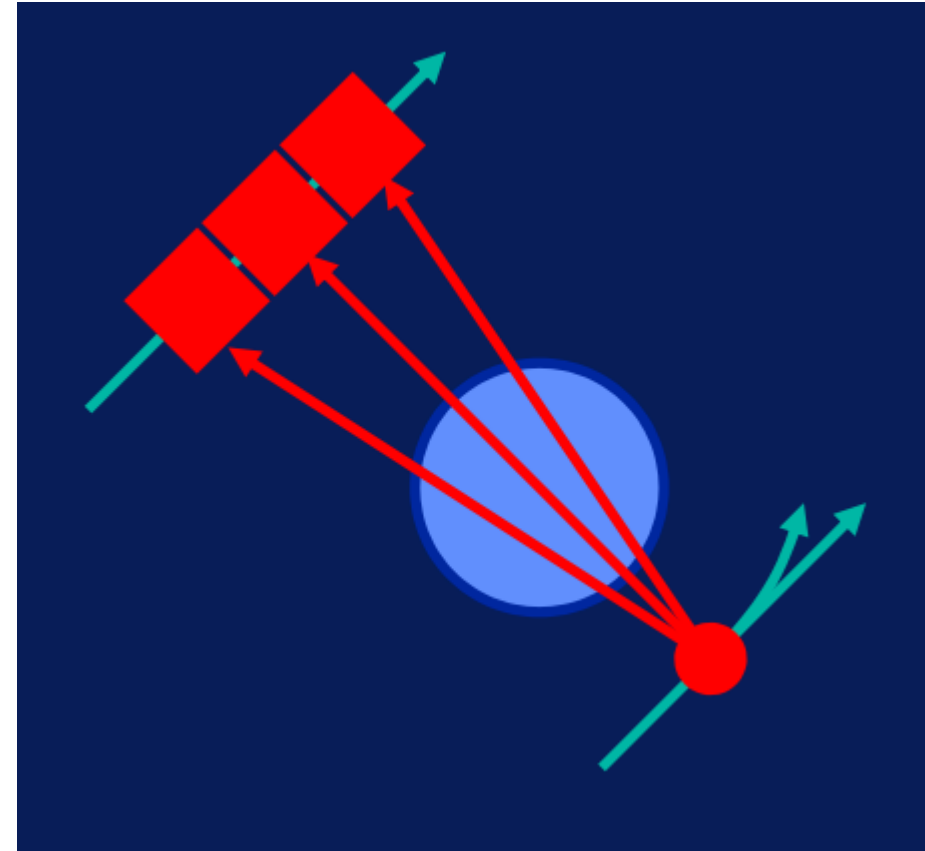


Princípios gerais da TC

2ª Geração

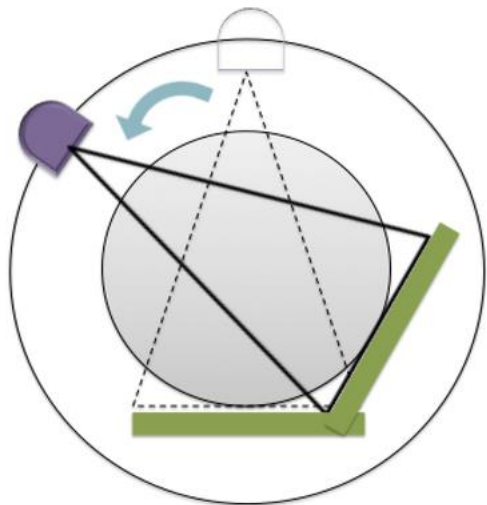


Uma fonte \rightarrow N detectores
Translação \rightarrow Rotação
~ 20 segundos por fatia

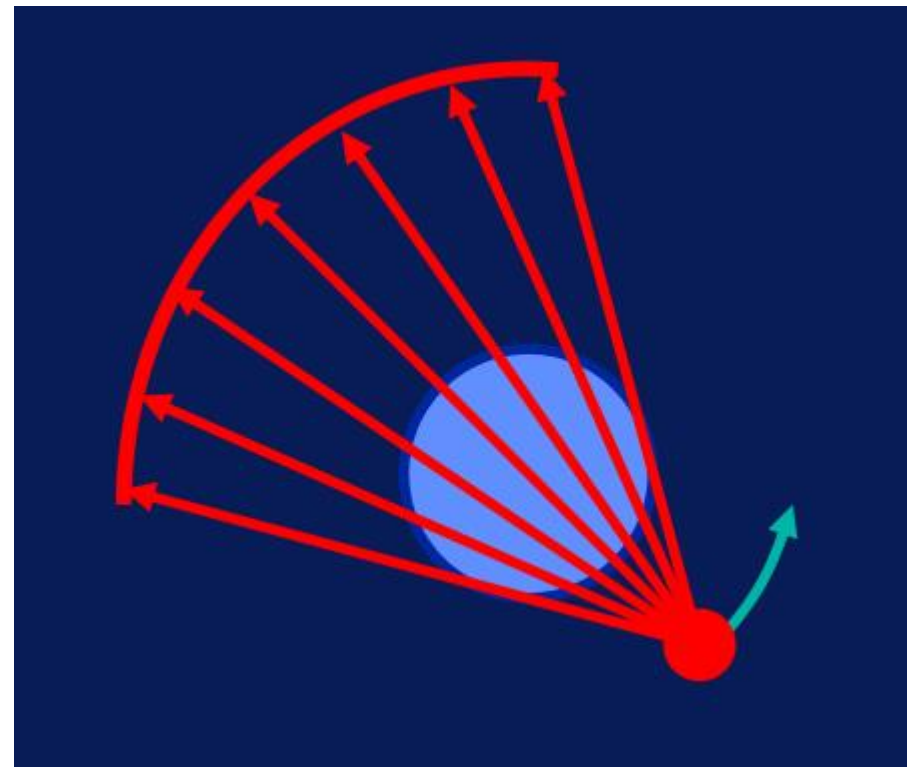


Princípios gerais da TC

3ª Geração

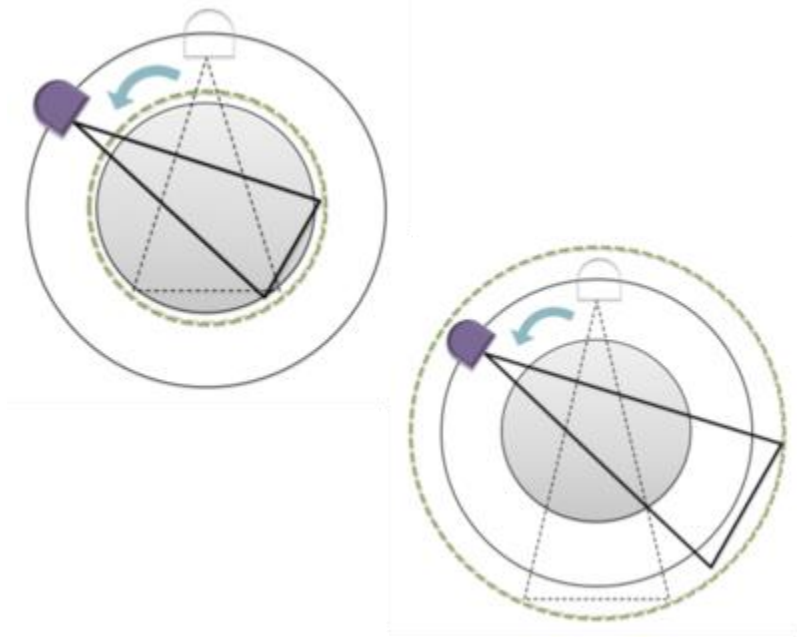


Feixe de grande largura
Uma fonte → várias centenas de detectores
Rotação
~ 4 a 5 segundos por fatia
Feixe pulsado

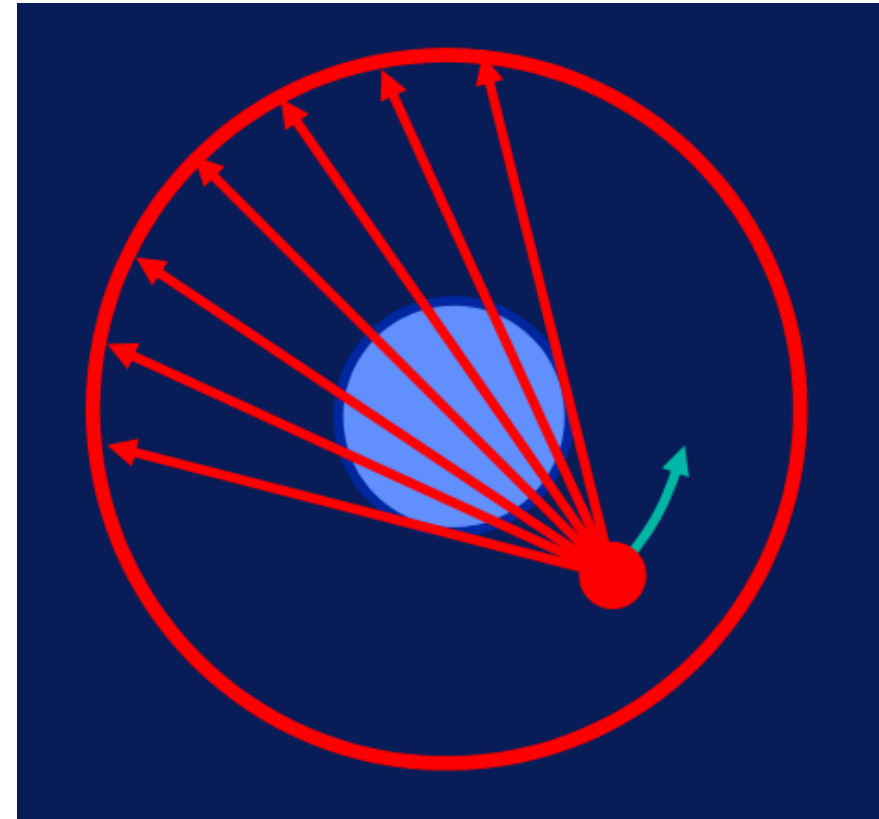


Princípios gerais da TC

4ª Geração

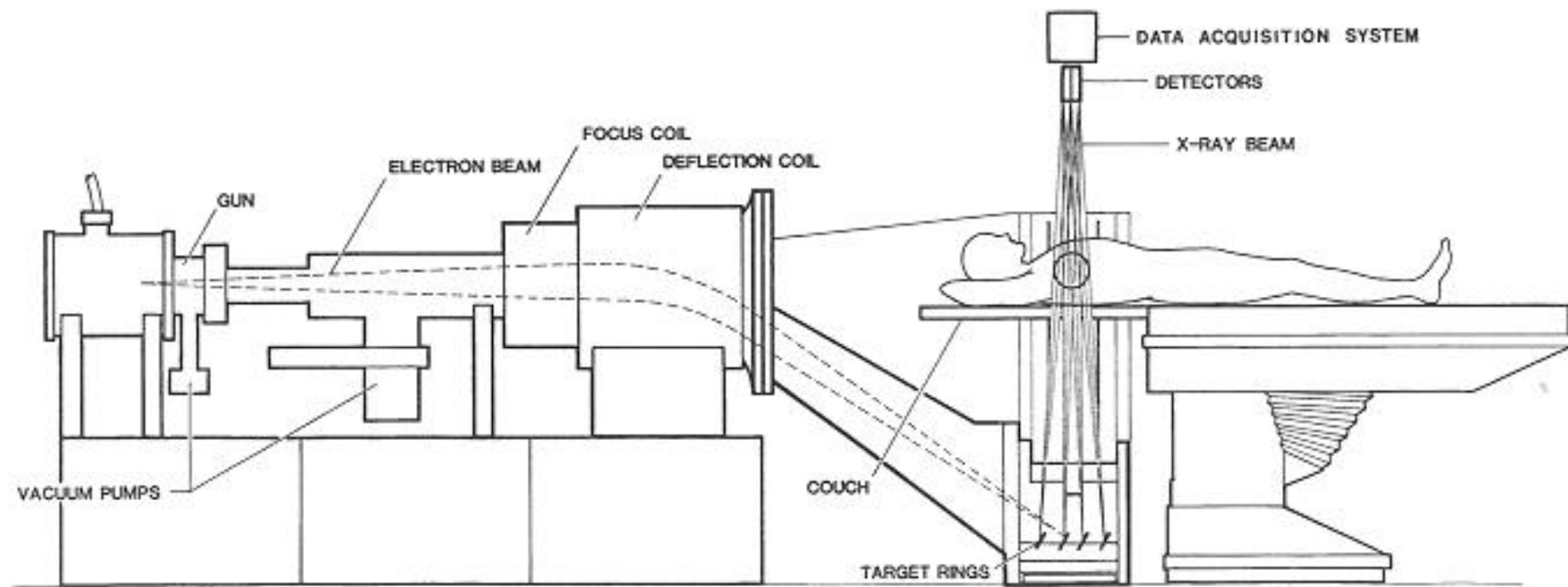


Feixe de grande largura
Uma fonte → anel de dectetores (estático)
Rotação contínua da fonte
~ 4 a 5 segundos por fatia
Rotação contínua → redução de artefactos



Princípios gerais da TC

TC com *scanning electron beam* (também referido pontualmente como 5ª geração)

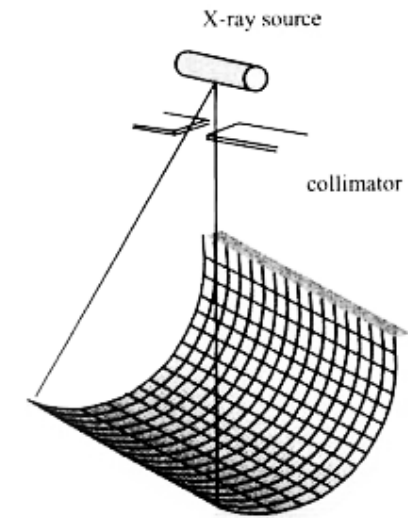
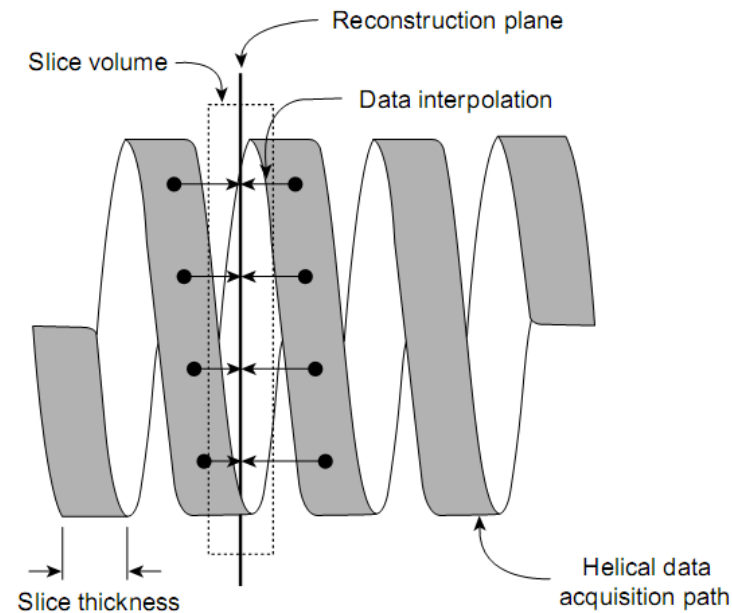
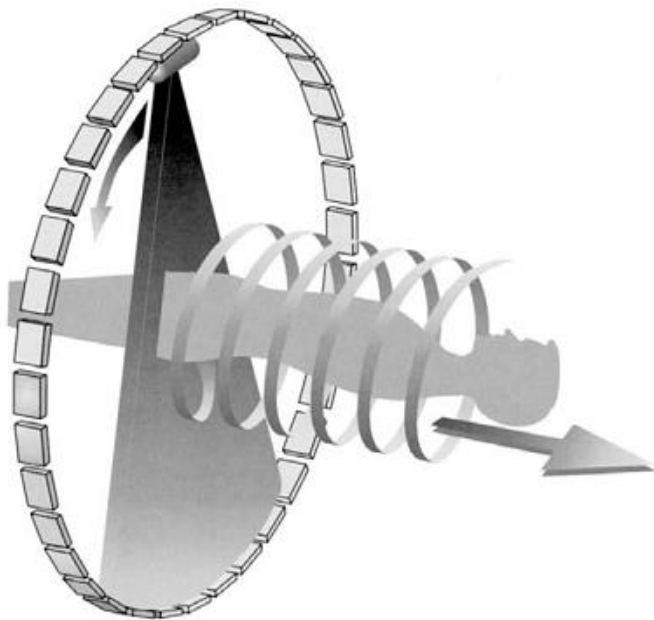


Os elétrons são acelerados e podem ser focados num dos vários ânodos.

- Podem ser medidos vários cortes em simultâneo.
- Não há partes móveis, o arranjo funcional não é mecânico, é eletrónico.
- O tempo de um scan pode ser reduzido até 1 ms → imagens cardíacas (um scan completo no tempo de um batimento).
- Problema: muito caro.

Princípios gerais da TC

Aquisição helicoidal

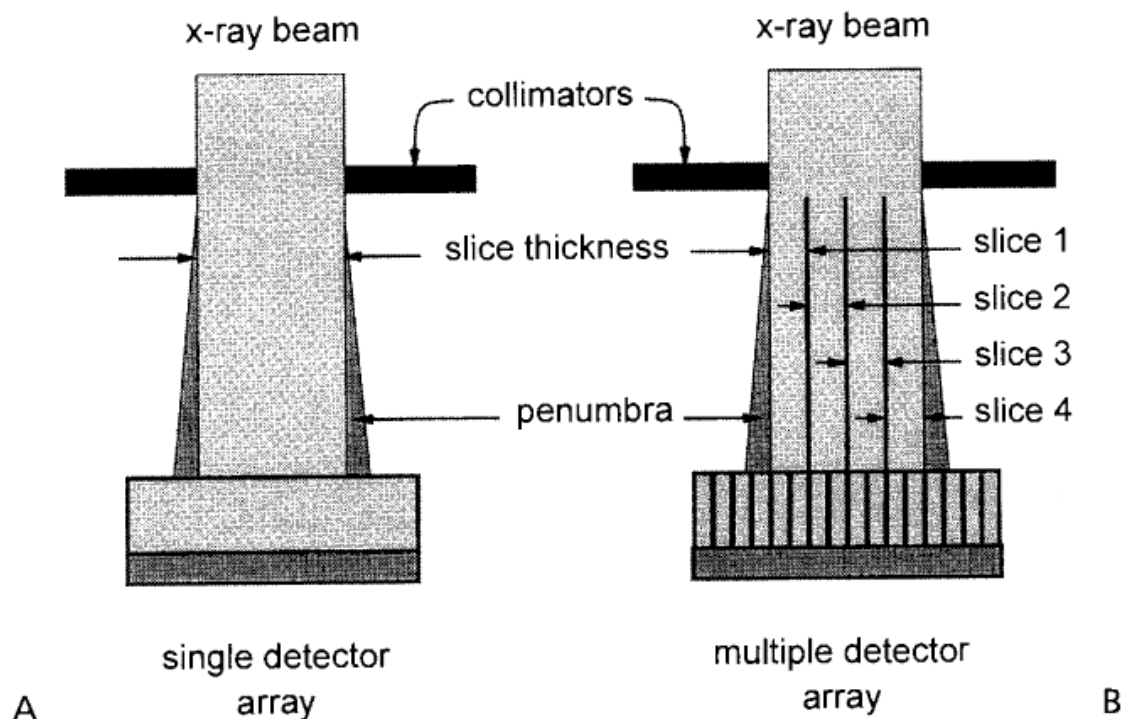
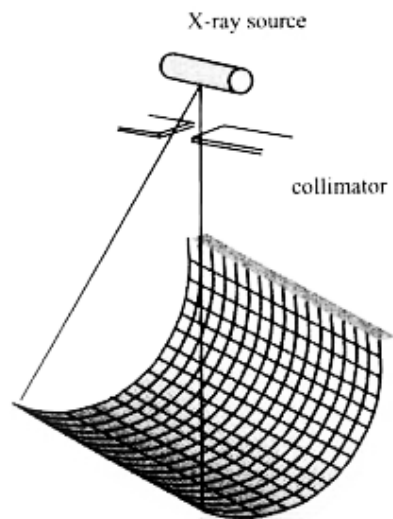


Quase todos os sistemas atuais seguem este formato:

- são mais rápidos (não há paragens entre a aquisição dos vários cortes);
- permitem uma melhor resolução espacial;
- as versões mais modernas permitem a aquisição de múltiplas fatias a cada varredura, melhorando significativamente a resolução da imagem por TC;
- exigem algoritmos de reconstrução mais complexos (desvantagem).

Princípios gerais da TC

Single slice vs. multislice – espessura de corte



Single slice (A): a largura da fatia é determinada pelo colimador e é sempre menor que a largura máxima do detetor.

Multislice (B): matriz múltipla de detetores (os tomógrafos adquirem várias fatias simultaneamente) – a espessura da fatia é determinada agrupando subunidades de detetores e movendo fisicamente o colimador.

Princípios gerais da TC

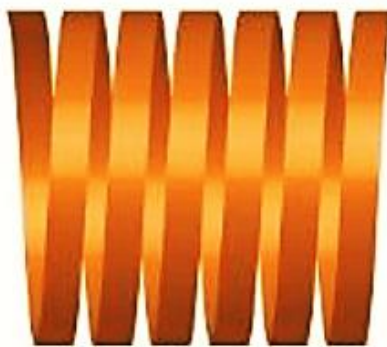
Pitch

Axial

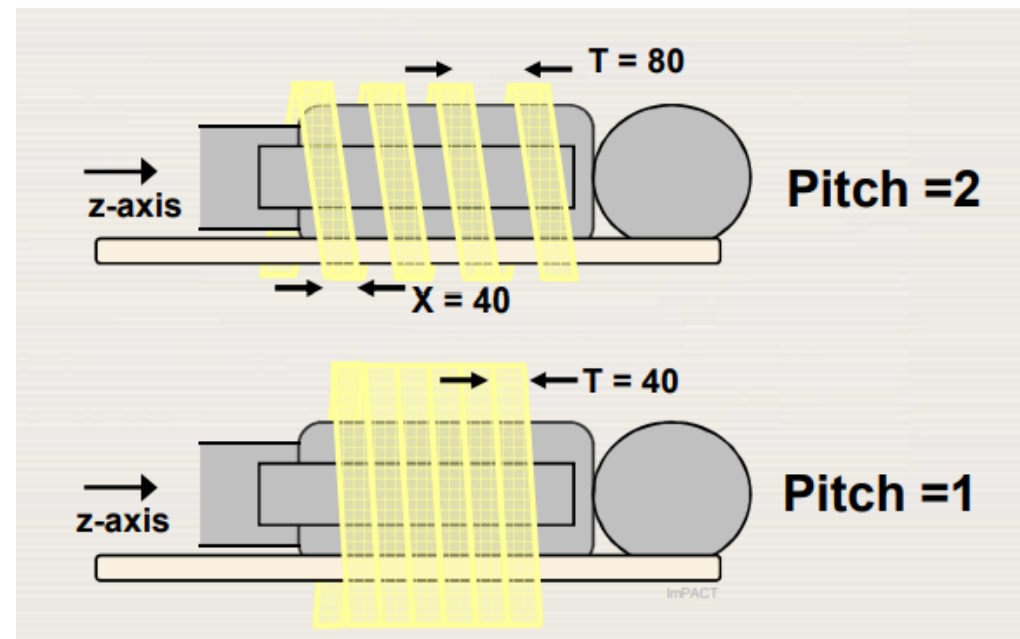


The anatomy of each slice is taken from each plane of the "z" axis.

Helical



The anatomy of each slice is composed of anatomy along the "z" axis.



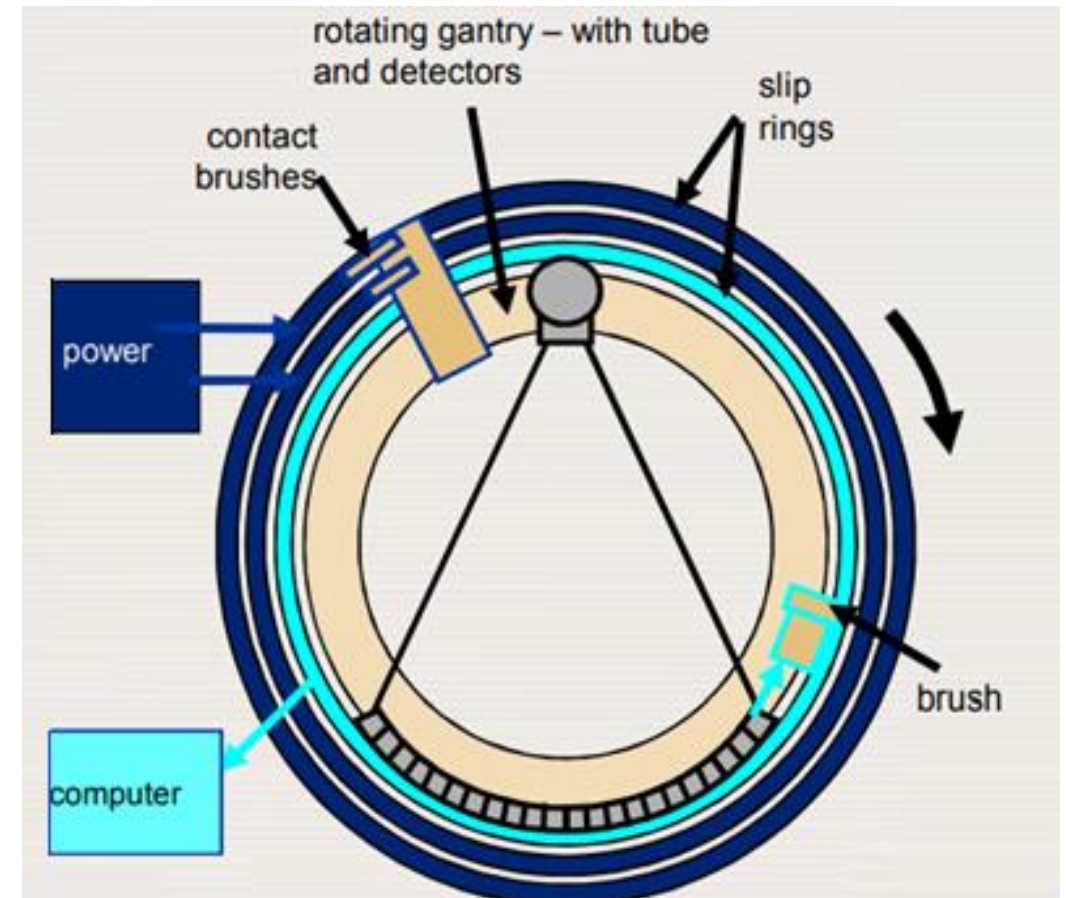
$$\text{Pitch} = \frac{\text{table travel / rotation}}{\text{X-ray beam width}}$$

Nota: para aquisições multifatias há a necessidade de distinguir entre o *pitch* do colimador e o *pitch* do detetor.

Princípios gerais da TC

Fonte de raios X

- Semelhante às usadas na radiografia.
- Em alguns casos funcionam em modo descontínuo por pulsos – TC de terceira geração.
- Operados tipicamente a uma tensão de 110-150 kV.
- Necessidade de combinar a fonte em movimento com outros componentes eletrônicos que não se movem – *slip rings* (anéis coletores).
- Arrefecimento da ampola normalmente feito a óleo ou ar.



Princípios gerais da TC

Detetores de raios X

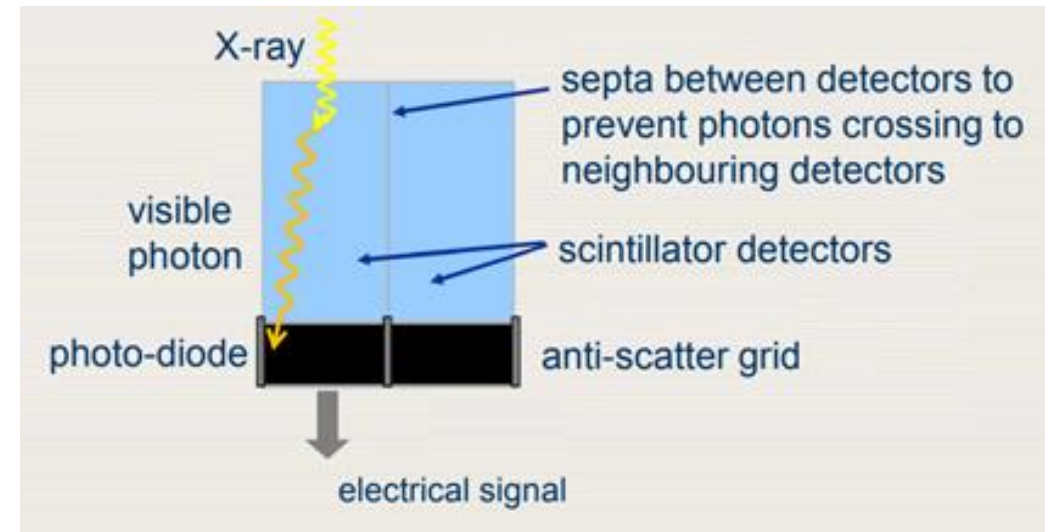
Um sistema TC moderno contém milhares de detores independentes.

Dois tipos:

- Cristais cintiladores acoplados a fotodíodos (o mais usado – elevada sensibilidade).
- Câmaras de ionização com xénon gasoso ($Z=54$) a uma pressão ligeiramente acima da atmosférica para aumentar a eficiência (menor quantidade de artefactos mas menor sensibilidade na deteção – foram ultrapassados pelos detetores sólidos).

Funcionam em modo contínuo devido ao elevado fluxo de raios X.

Detector Type	Efficiency
Xenon gas filled	70%
Solid state	Approaching 100%



Até quarta!

*Bibliografia disponível na plataforma