

Biomedical Signal and Image Processing

Kayvan Najarian and Robert Splinter

Cap 13 - Principles of Computed Tomography

Aluno: Sildenir Alves Ribeiro
Orientadora: Aura Conci



Apresentação

- *Fontes Consultadas*
- *Introdução*
- *Raio X*
 - *Introdução*
 - *Histórico*
 - *Princípios Básicos*
- *TC – Tomografia Computadorizada*
 - *Introdução*
 - *Histórico*
 - *Princípios Básicos*
 - *Mecanismos e Funcionamento*



Fontes Consultadas

- NAJARIAN; K.; SPLINTER, R.; Biomedical Signal and Image Processing; Ed. 1998.
- COSTA LEITE, C; AMARO JR; E; OTADUY, M.G; Física Básica da tomografia computadorizada – Princípios da formação da Imagem tomográfica; WEB <www.hcnet.usp.br/inrad>.
- TETZNER, G.C; Aplicação da Tomografia Computadorizada Industrial na Análise de Rochas – Dissertação de Mestrado; Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares / USP; São Paulo; 2008.
- ASTM; Standard Guide for Computed Tomography (CT) Imaging, ASTM Designation E 1441 - 92a. In: Annual Book of ASTM Standards; Philadelphia; 1992.
- Wellington, S.L., Vinegar, H.J; X-ray computerized tomography. Journal of Petroleum Technology 39 (8), 885-898; 1987.
- Withjack, E.M.; Computed tomography for rock-property determination and fluid-flow visualization. SPE Formation Evaluation 3 (4), 696-704; 1988.
- Tomography Computed – Basics Principles (**perdi a fonte mas tenho o texto**).
- Wikipédia – A Enciclopédia Livre – Vários Textos.
- HowStuffWorks – ComoTudoFunciona – Vários Textos



Raio X

- Introdução

- O Raio X foi **descoberto** pelo físico alemão *Wilhelm Conrad Roentgen*.

- Roentgen estudava o fenômeno da luminescência produzida por raios **catódicos**.
 - Os ensaios eram feitos em um tubo de raios catódicos.
 - Tubos de **Crookes**
 - A primeira radiografia ocorreu no dia 22 de dezembro de 1895.

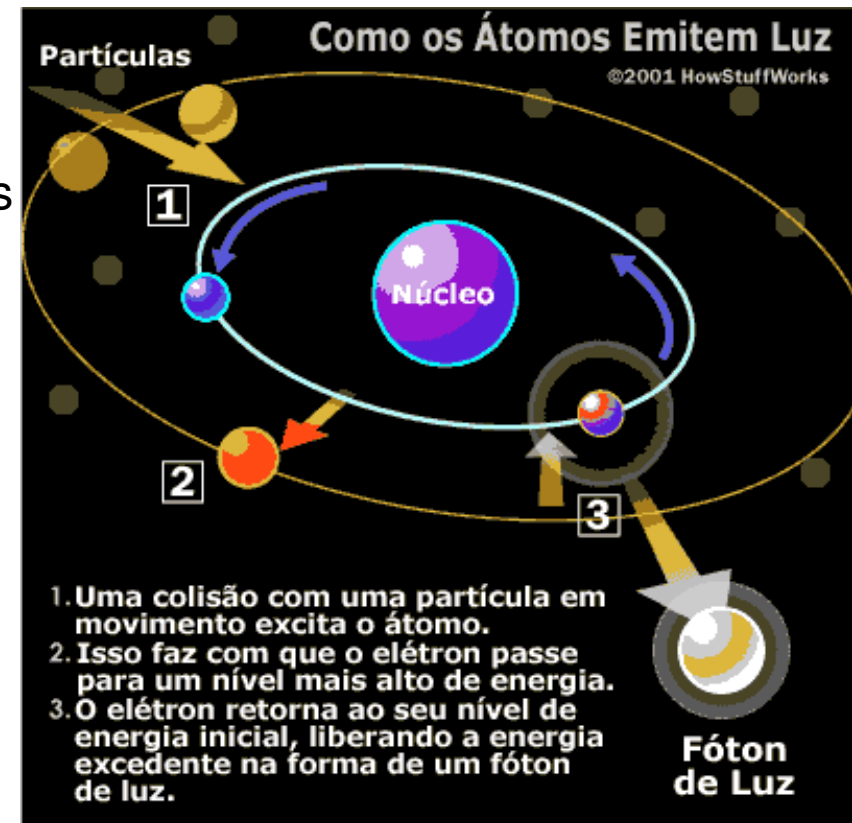
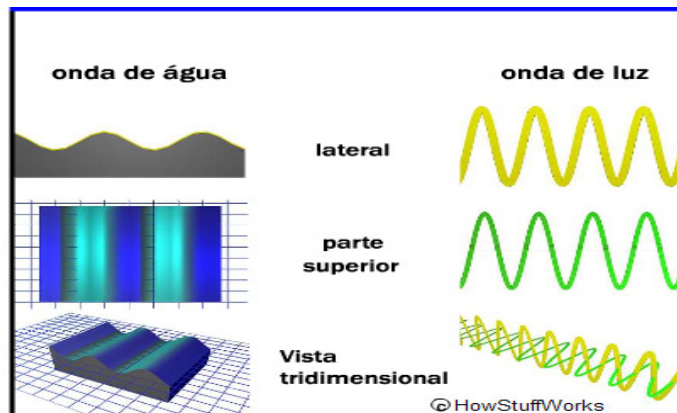
- Sua esposa permaneceu com a mão exposta à radiação durante 15 minutos.



Raio X

• Introdução

- **Definição:** Raios X são basicamente o mesmo que os raios de **luz visíveis**.
- Ambos são formas de **ondas de energia** eletromagnética carregadas por partículas chamadas **fótons**.
- A diferença entre raios X e raios de luz visível é a energia dos fótons que são liberadas individualmente. Também chamado de **comprimento de onda** dos raios.





Raio X

- *Histórico*

- *O Nome Raio X*

- Roentgen decidiu chamar de Raio-X porque era uma *incógnita* para ele.
 - Com a descoberta Roentgen recebeu o primeiro premio *Nobel de Física em 1901*.
 - *Doou o prêmio para Universidade **Wurzburg** por acreditar que o premio deveria ser um bem comum.*
 - *Em 1903, recebeu novamente o prêmio nobel, dividindo o com o casal **Curie**.*



Raio X

- *Histórico*
 - *Vários pesquisadores foram premiados com o Nobel através de estudos com o Raio X.*

1901 Wilhelm Konrad Röntgen - pela descoberta dos raios-X.

1902 Hendrik Antoon Lorentz e Pieter Zeeman - pelas suas pesquisas sobre radiação.

1903 Antoine Henri Becquerel, Pierre e Marie Curie - pela descoberta da radioatividade espontânea.

1905 Philipp Eduard Anton von Lenard - pelos seus trabalhos sobre os raios catódicos.

1914 Max von Laue - pela descoberta da difração de raios-X por cristais.

1915 William Henry Bragg e William Lawrence Bragg - pelos seus estudos sobre a estrutura de cristais utilizando difração de raios-X.

1917 Charles Glover Barkla - pela descoberta dos raios-X característicos dos elementos.

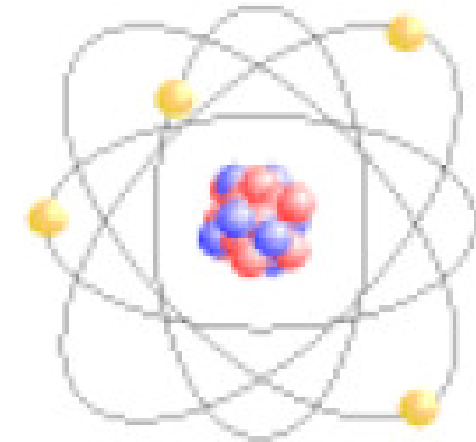
1924 Karl Manne Georg Siegbhan - pelas suas pesquisas sobre espectroscopia de raio-X.

1979 Godfrey Hounsfield e Allan Cormack. Pela criação do Tomografo (medicina)

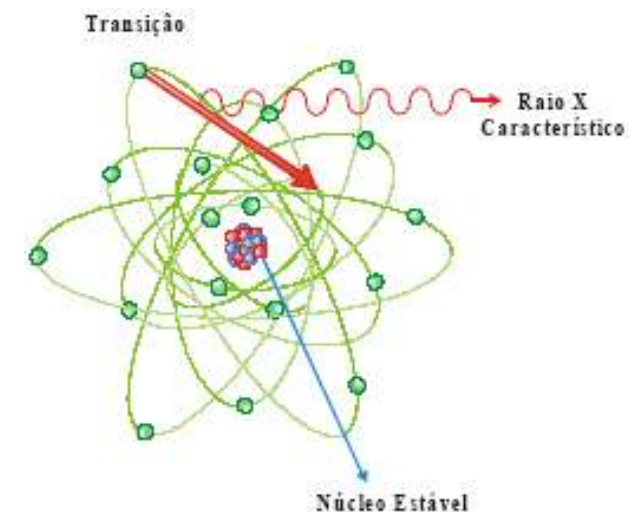


Raio X

- *Princípios Básicos*
 - Os raios X são gerados através de dois processos que ocorrem em nível **atômico**:
 - A **frenagem (Bremsstrahlung)**;
 - E os **Raios X Característicos**.

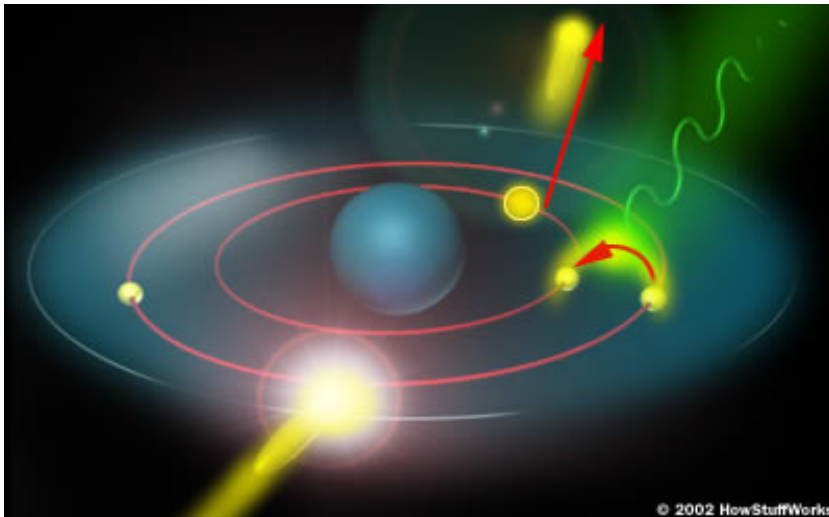


Importante: tais processos se dão na chamada **eletrosfera**. Assim, a origem dos raios X não é **nuclear**, ou seja, eles não são gerados no núcleo dos átomos.

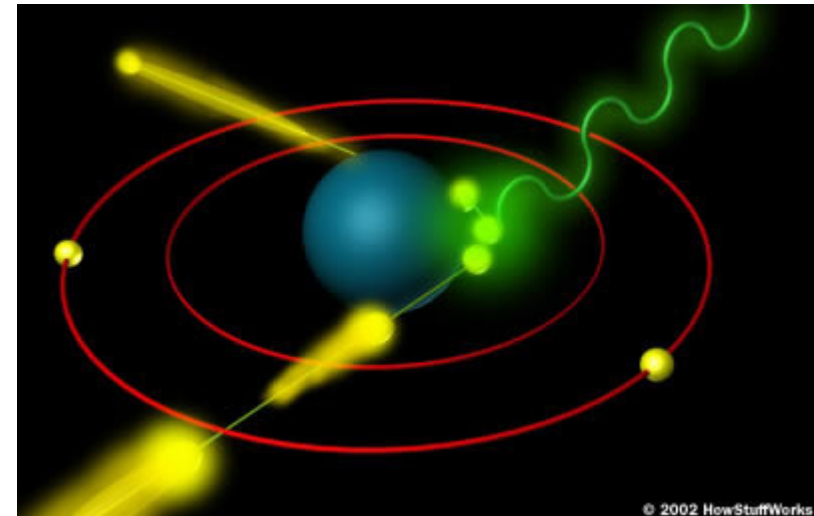




Raio X



O elétron livre colide com o átomo de tungstênio, tirando um elétron de um orbital mais baixo. Um elétron de um orbital mais alto preenche a posição vazia, liberando seu excesso de energia como um fóton.

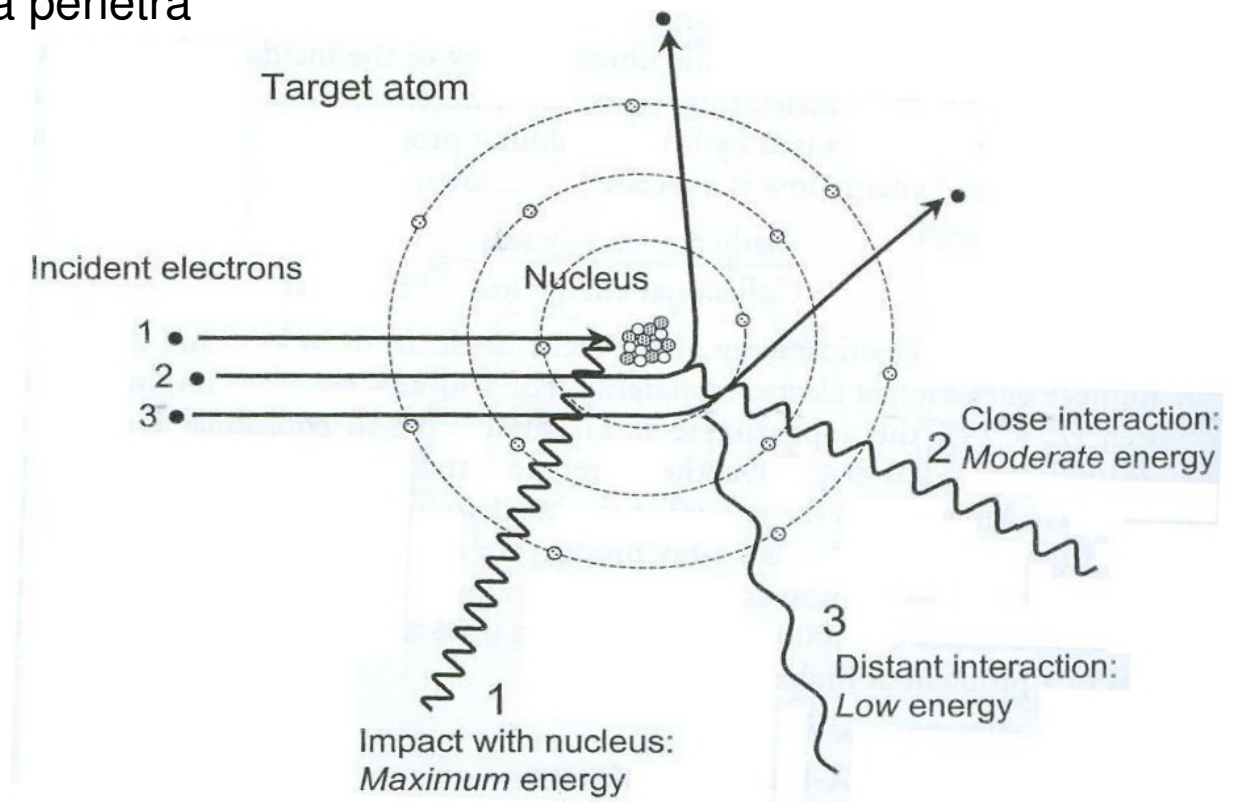


O elétron livre é atraído para o núcleo do átomo de tungstênio. À medida que o elétron passa, o núcleo altera seu curso. O elétron perde energia que é liberada como fóton de raio x.



Raio X

- A Frenagem (Bremsstrahlung)
 - **Três eventos principais**
 1. Elétron de alta energia penetra no átomo;
 2. A atração do núcleo o faz frear;
 3. Parte de sua energia **cinética** “vira” raio X.

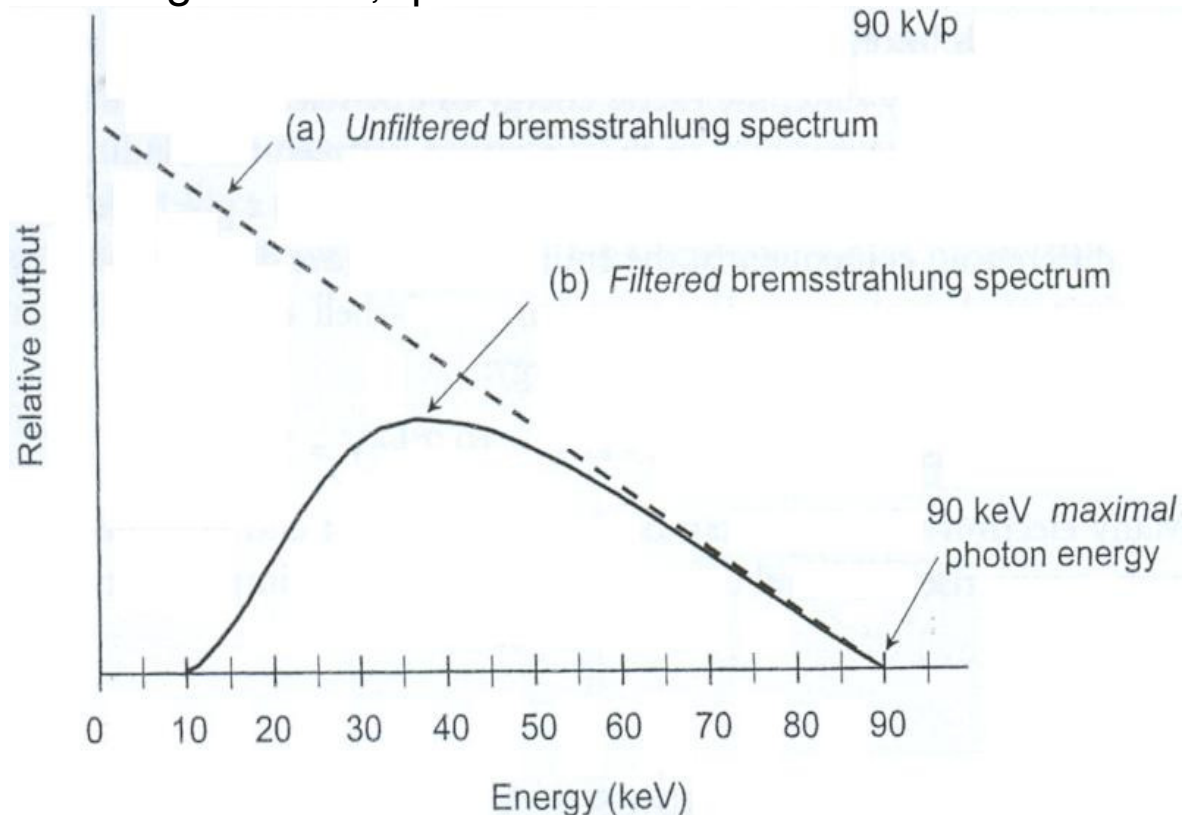




Raio X

- **Espectro de Frenagem**

- É contínuo, i.é, os raios X são gerados de energias (**qualidade**) diferentes. Vulgarmente, “produz-se mais raio X ruim e menos raio X bom.”

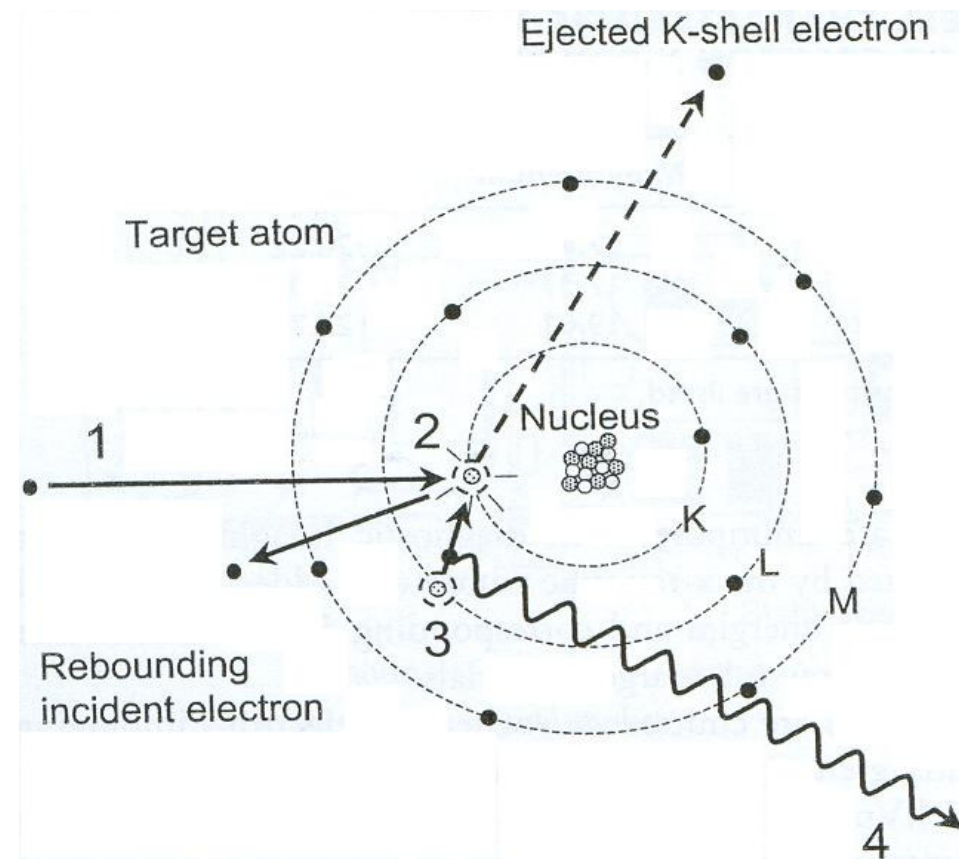


Raio X

- **Os Raios-X Característicos**

- **Três eventos Principais**

1. Elétron acelerado ioniza o átomo nas camadas mais internas: K, L.
2. Fica uma vaga desocupada nesta camada;
3. Outro elétron do átomo vem ocupá-la, emitindo um fóton de energia típica de cada átomo utilizado como alvo.

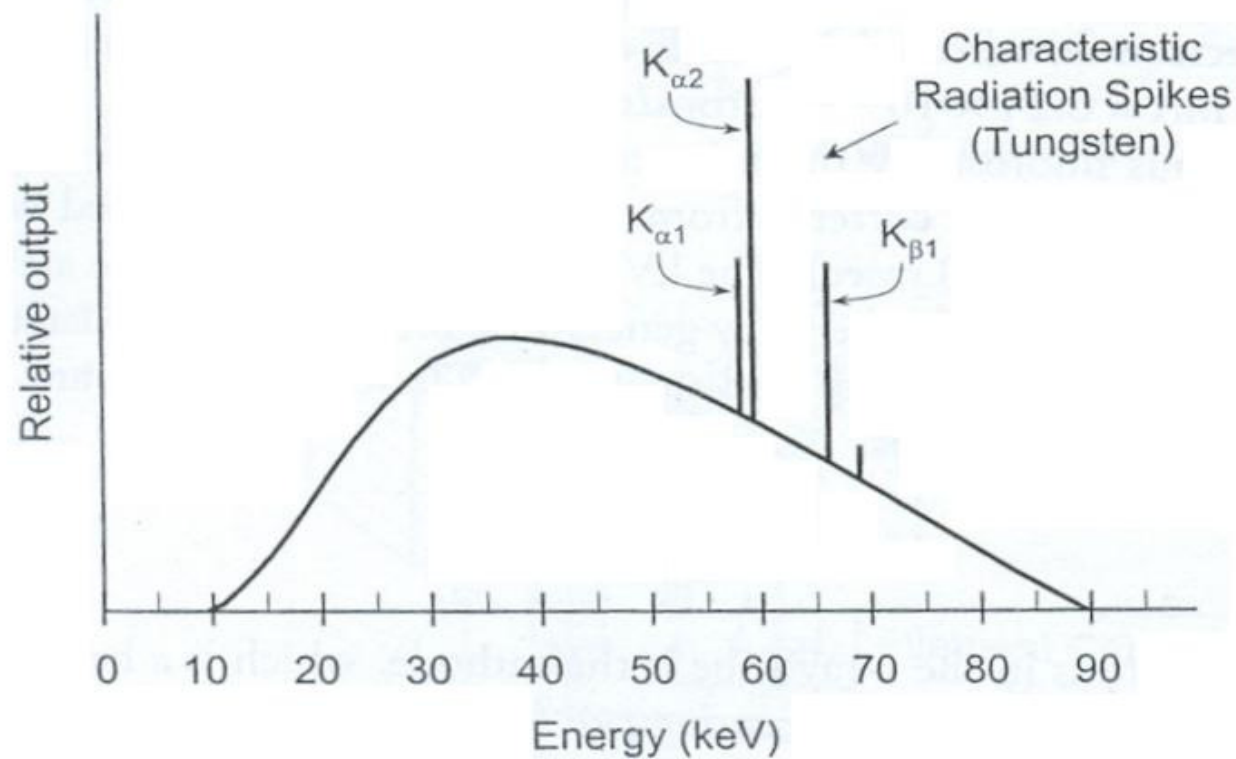




Raio X

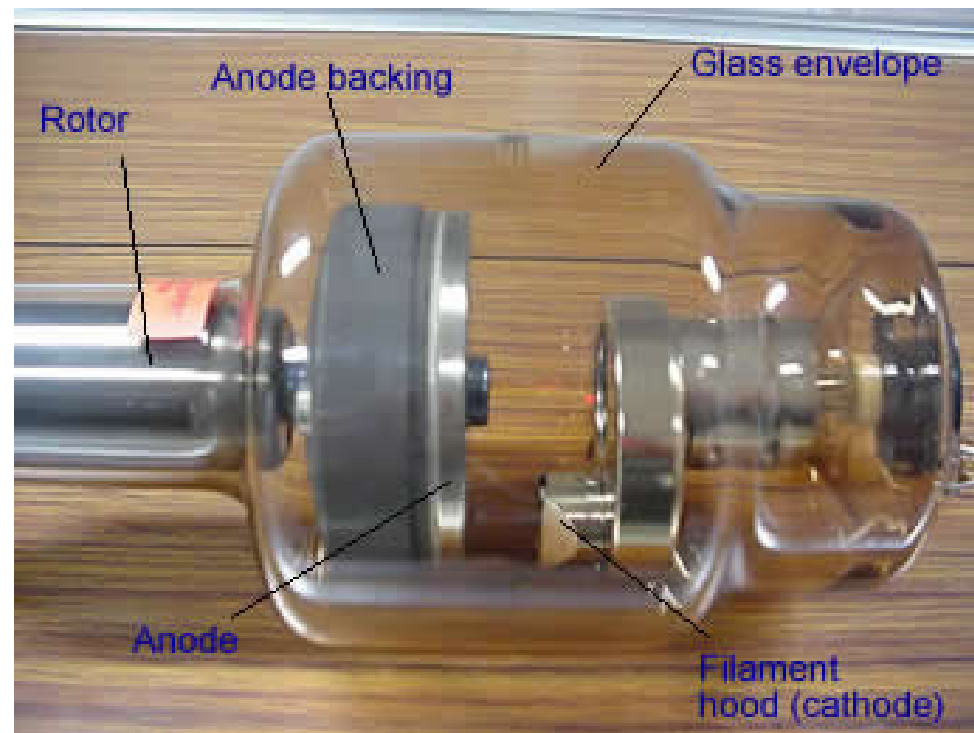
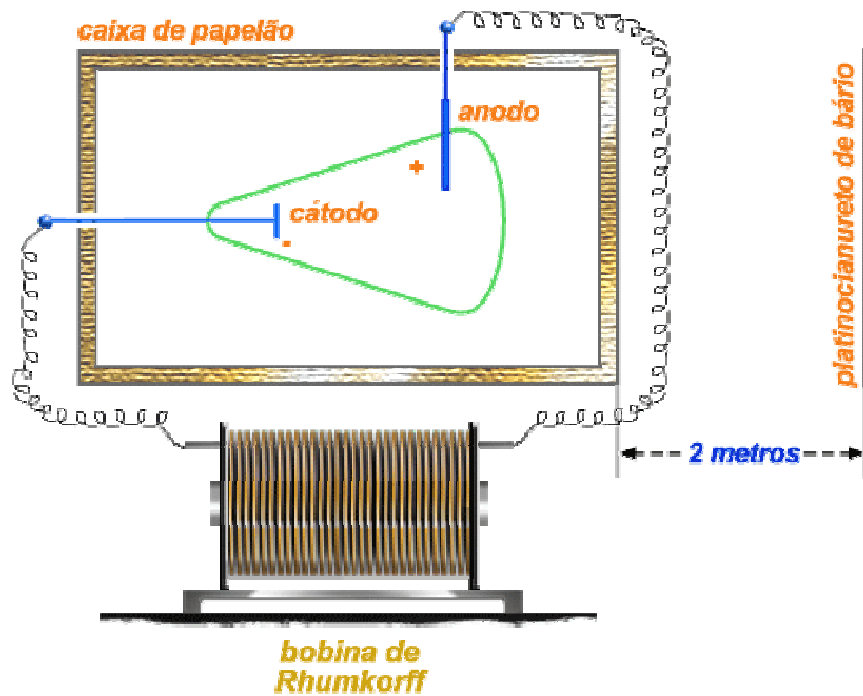
- *Espectro Característicos*

- Se apresenta como **linhas** destacadas, “montado” sobre o espectro contínuo. É típico para cada material utilizado como alvo.



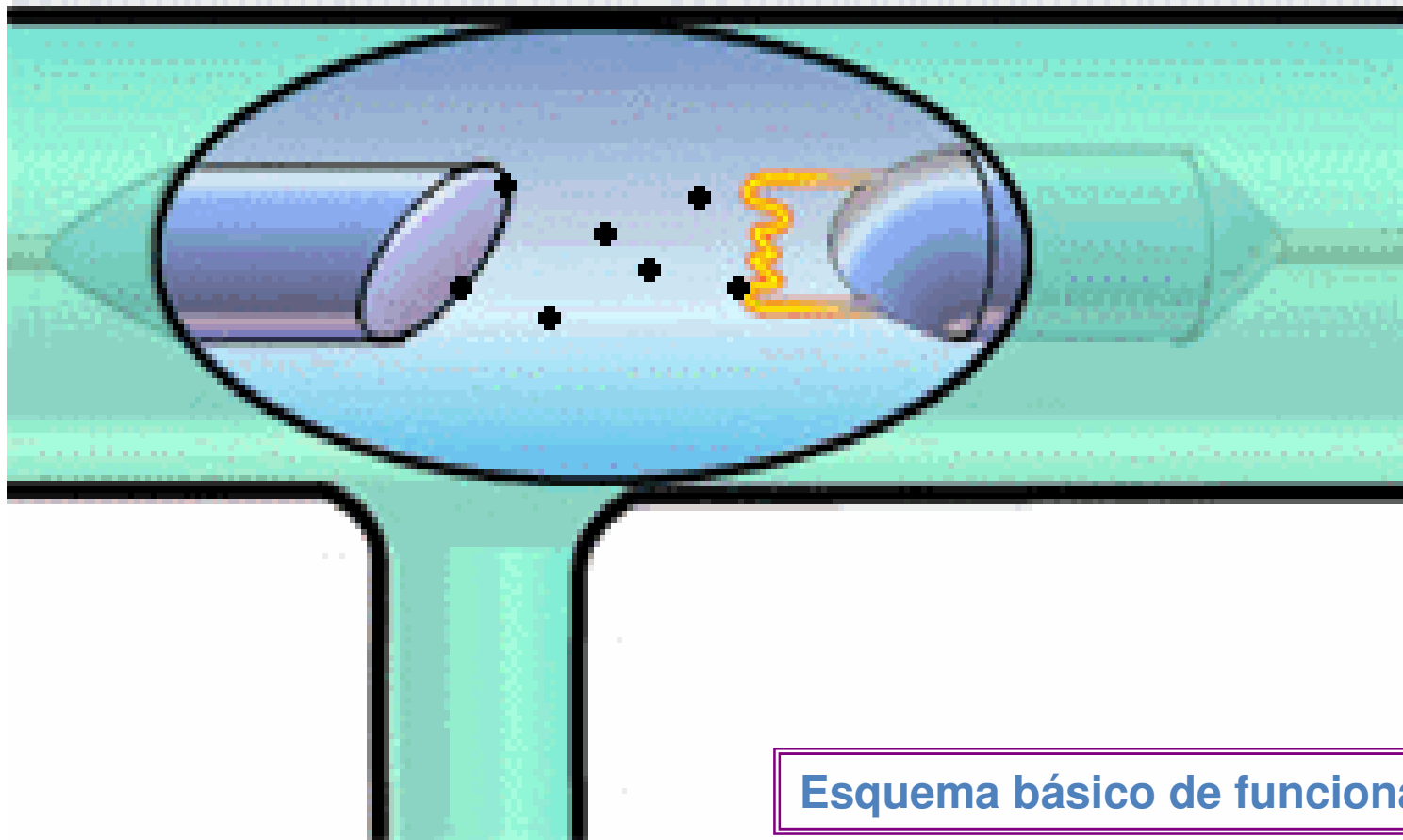
Raio X

- As Ampolas de Raio X



Raio X

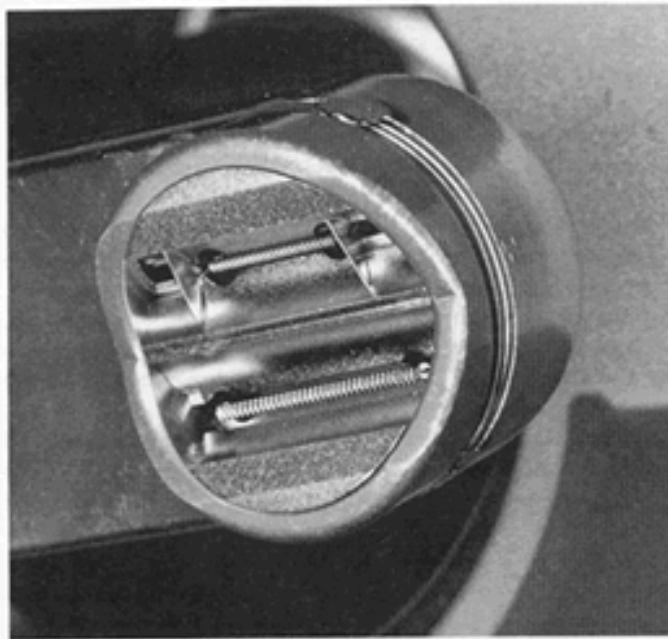
- *As Ampolas de Raio X*



Esquema básico de funcionamento.

Raio X

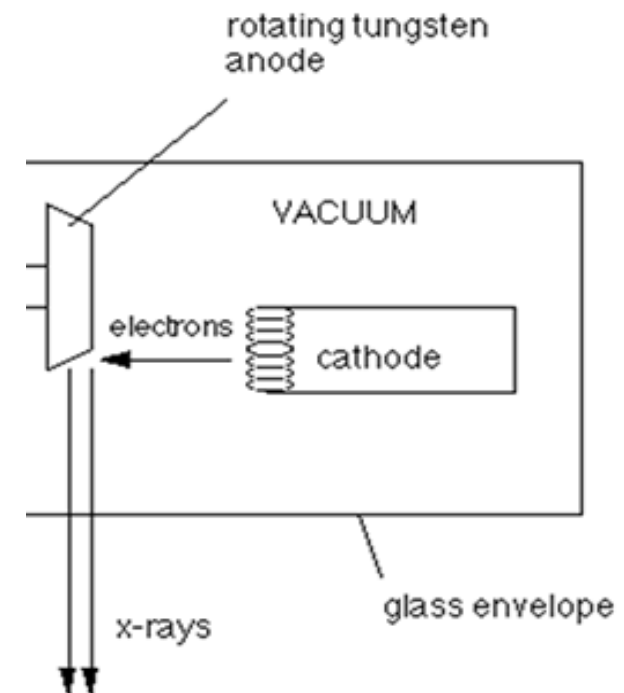
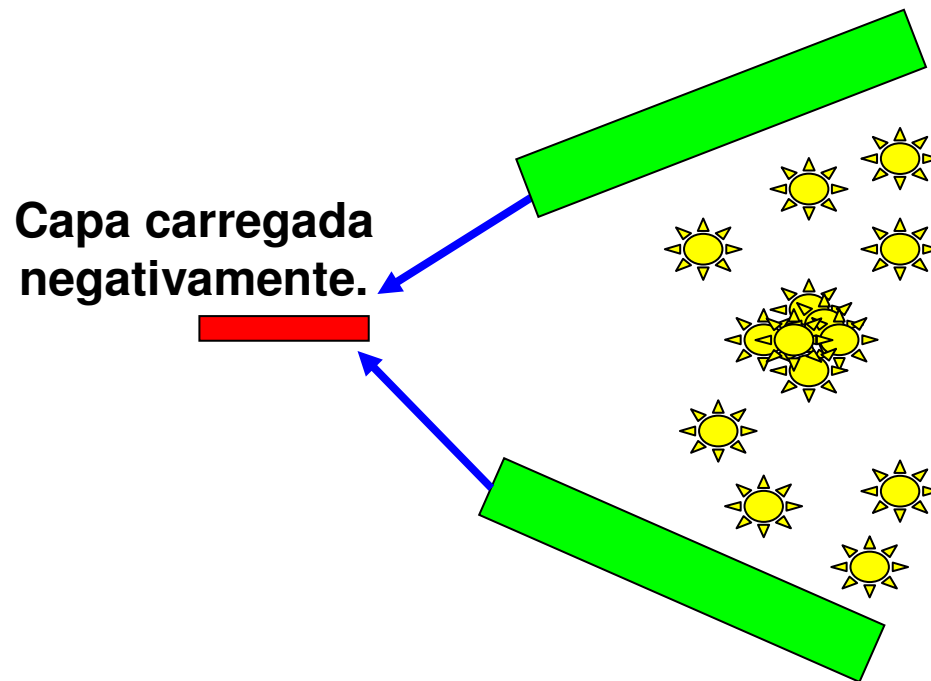
- *Funcionamento Básico das Ampolas*
 - Filamento: ao ser aquecido por corrente elétrica (2 a 5 Ampères), “expulsa” elétrons.
 - Dois tamanhos: fino e grosso



Os filamentos atingem temperaturas de mais de 2.000 C°. Para suportar tais temperaturas, são feitos de Tungstênio (W), material de alto ponto de fusão.

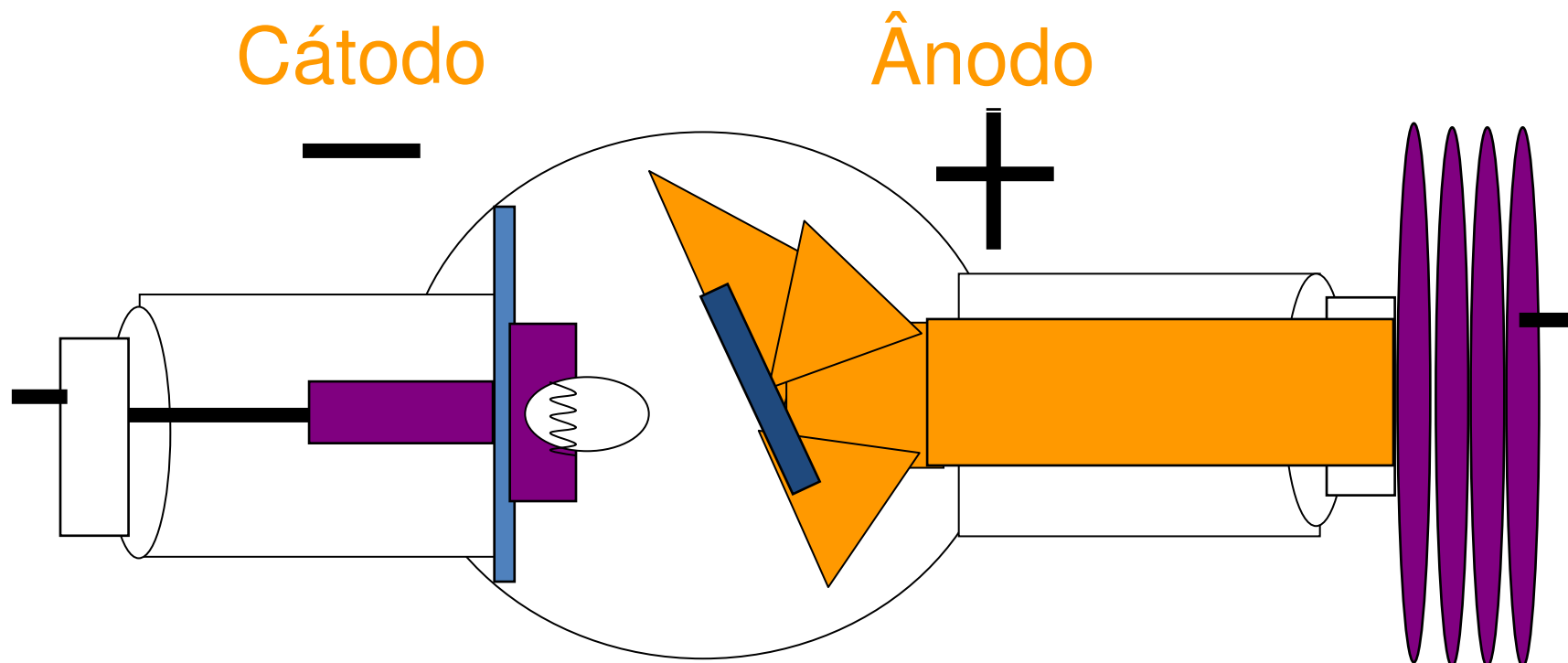
Raio X

- *Capa Metálica Focalizadora*
 - Os filamentos (“molinhas”) são envolvidos por uma espécie de capa metálica. Ela é eletrizada negativamente e sua função é “ajuntar” os elétrons.



Raio X

- Vácuo e Aceleração
 - Dentro da ampola existe vácuo, que permite acelerar os elétrons.
 - Uma alta voltagem, de milhares de volts, é aplicada entre o filamento e o alvo (catodo e anodo, - e +).





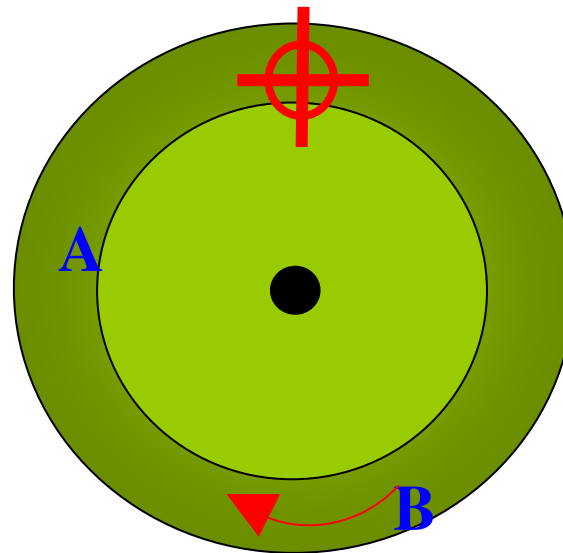
Raio X

- Dissipação de Calor
 - Ao ser atingido, o alvo converte cerca de 99% da energia dos elétrons em calor e apenas cerca de 1% em Raios X.
 - Para dissipar tamanha quantidade de calor, o anodo é ligado ou envolvido a uma haste de cobre, que na máquina (a ampola) é imersa em óleo.

Raio X

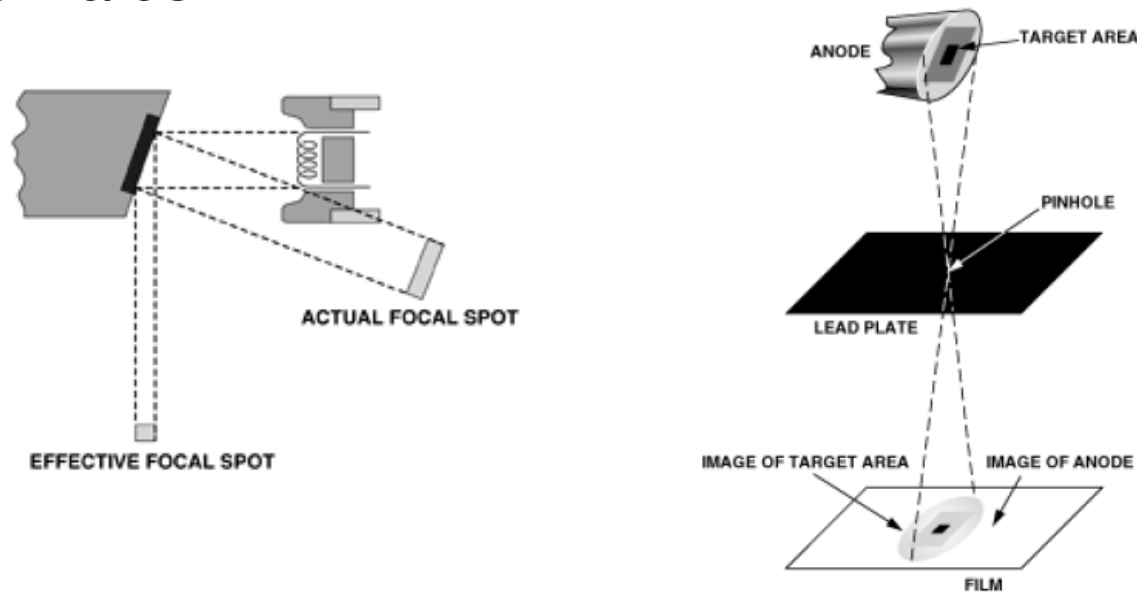
- **Anodo Giratório**

- Nos aparelhos convencionais, o alvo gira evitando super-aquecimento e danos na área atingida pelos elétrons.
- Em aparelhos com alvos fixos, como os odontológicos, a potência precisa ser calculada e limitada a ponto de não causar danos irreversíveis à ampola.



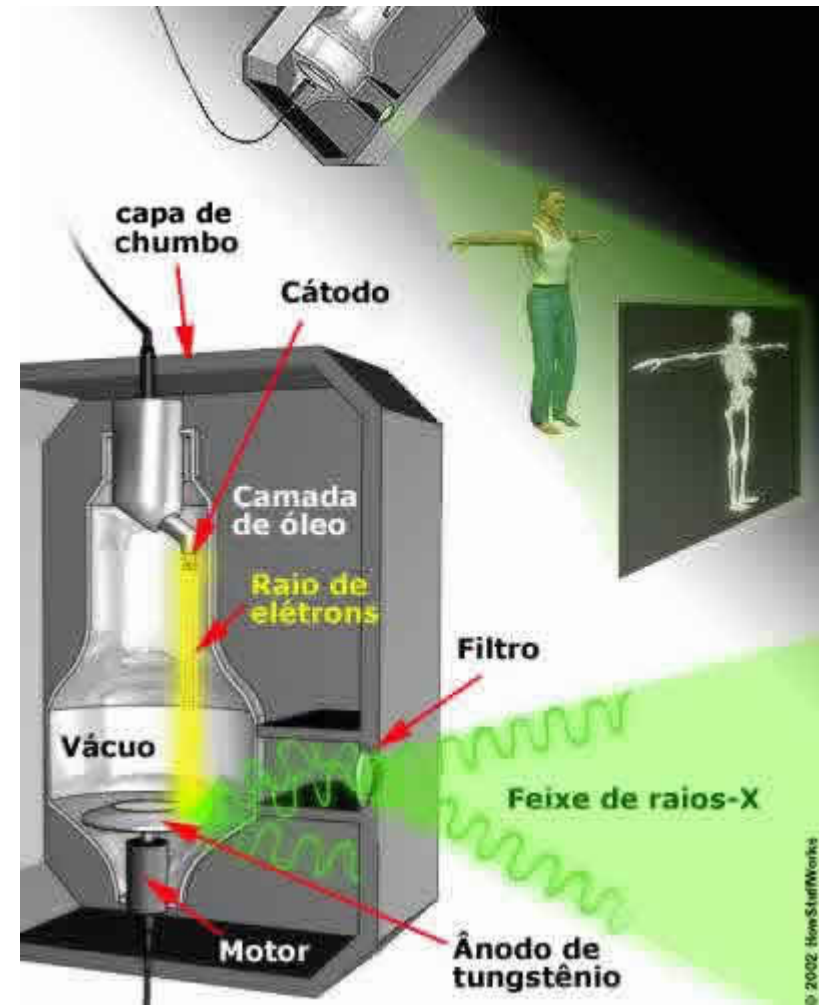
Raio X

- Inclinação do Alvo
 - A inclinação do alvo direciona o feixe de raios X até o paciente e cria o **foco efetivo**.
 - O foco efetivo é menor que a região atingida, de onde “brota” os Raios X.



Raio X

- **A Máquina de Raio X:**
 - Possui um par de eletrodos (cátodo e ânodo) localizado dentro de um tubo de vidro a vácuo.
 - O cátodo é um filamento (negativo).
 - O ânodo (positivo) é um disco achatado feito de tungstênio aquecido por corrente elétrica.
 - O calor expulsa os elétrons da superfície do filamento.
 - Os elétrons são captados através do tubo.

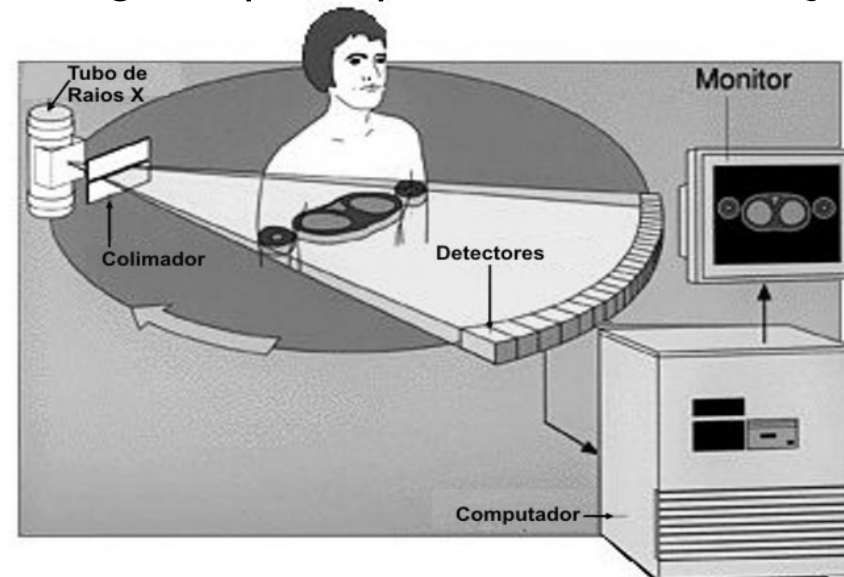




TC – Tomografia Computadorizada

• Introdução

- O termo Tomografia é derivado do grego, que significa: Tomo = fatiar, cortar em partes; e Grafen = registrar.
- A Tomografia Computadorizada – TC, originalmente foi chamada de TAC - Tomografia **Axial** Computadorizada.
- A Tomografia consiste em uma imagem que representa uma secção ou fatia do corpo.





• Introdução

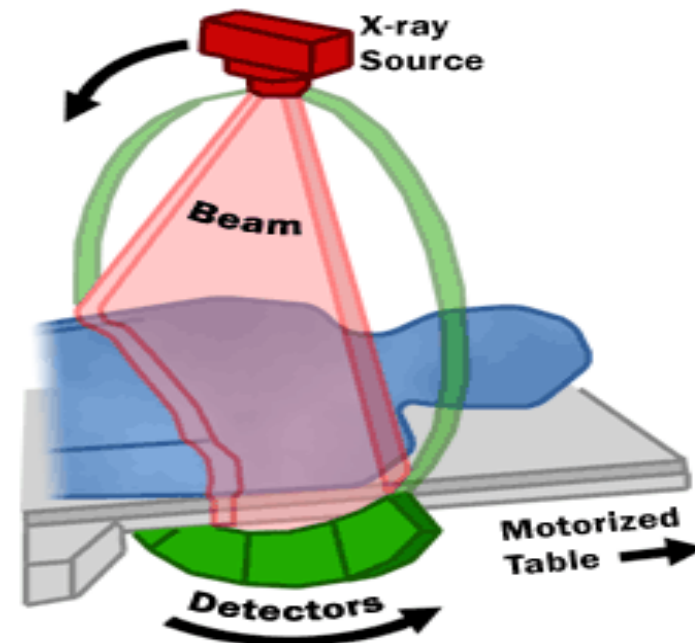
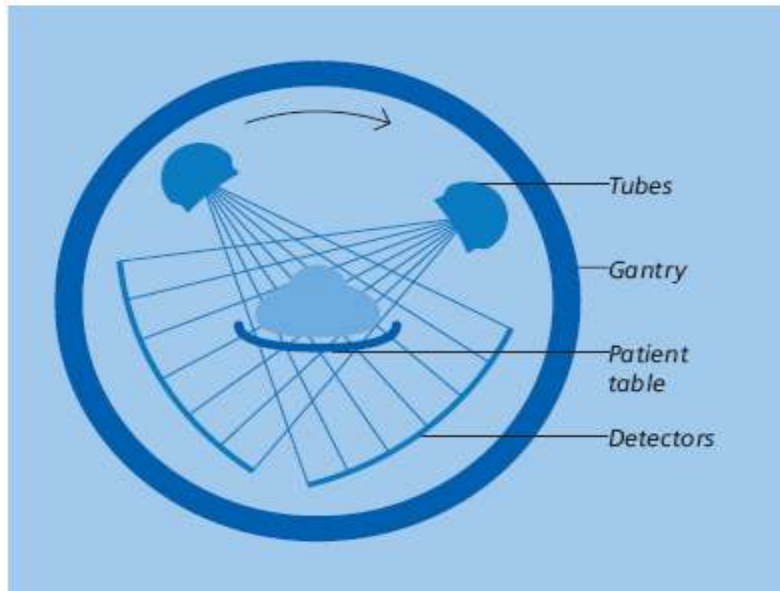
• Idéia Básica



© 2002 HowStuffWorks

TC - Tomografia Computadorizada

- Introdução
 - O tubo gira 360 graus em torno do corpo.
 - O detector acompanha o giro do tubo.
 - As características das imagens vão depender dos fótons absorvidos.





TC - Tomografia Computadorizada

- Histórico

- 1916 - Reprodução de imagens projetadas de raio X.
- 1956 - Allan Mcleod Cormack desenvolveu a teoria de como múltiplos raios projetados sobre o corpo, em ângulos diferentes, mas em um único plano, forneceriam uma imagem melhor do que o raio único, usado na radiografia.
- 1963 e 64 Trabalhos publicados no *Journal of Applied Physics sobre tomografias*.
- 1971 – *Primeiro protótipo e construído/montado na Inglaterra e primeira imagem tomográfica é gerada.*
- 1972 – O Eng. Godfrey N. Hounsfield e o físico Allan McLeod Cormack inventam / laçam a máquina *tomografia computadorizada*.
- 1973 – *Primeira CT do Cranio (USA).*
- 1974 – *Primeiro CT do Corpo (USA)*
- 1979 – *Nobel de medicina para Cormak e Hounsfield pela invenção do CT.*



TC - Tomografia Computadorizada

- Histórico
 - *Evolução da tomografia em 2 décadas*

Scan Parameter	Typical Values, 1972	Typical Values, 1994
Matrix size	80 × 80	1024 × 1024
Spatial resolution	3 line pairs/cm	15 line pairs/cm
Contrast resolution	5 mm/5 HU/50 mGy	3 mm/3 HU/30 mGy
Scan time	5 min	< 1 sec
Data size per scan	50 kByte	2 MByte
X-ray power	2 kW	40 kW

Obs. HU = Números de Hounsfield
mGy = Mili Gray



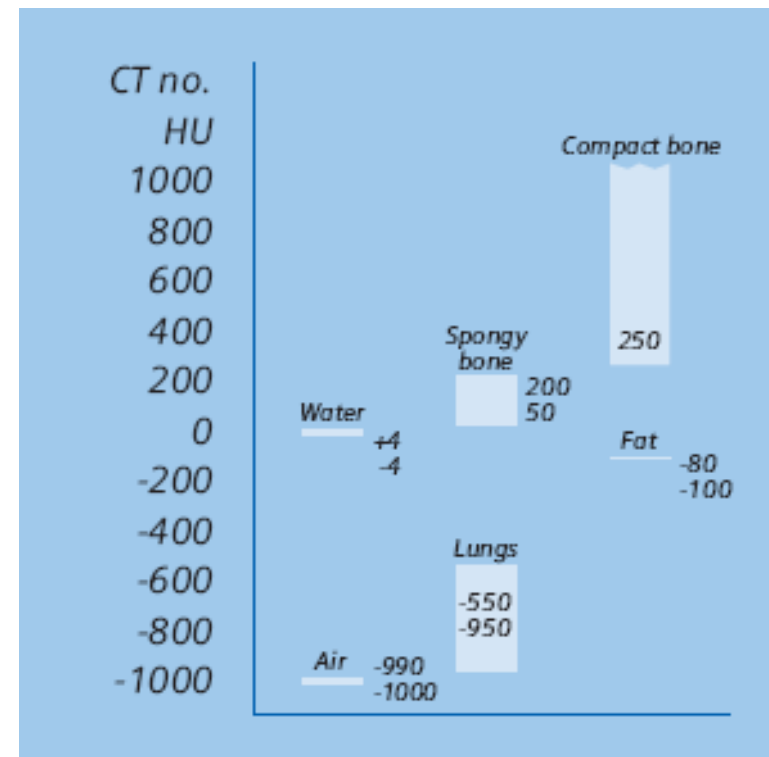
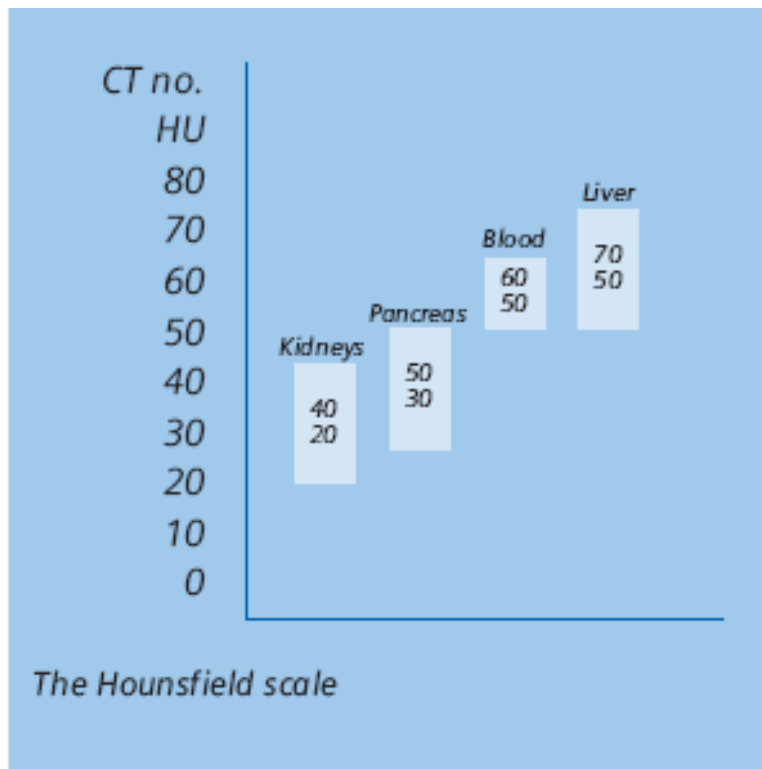
TC - Tomografia Computadorizada

- Conceitos Básicos
 - **Características das Imagens Tomográficas**
 - Número de Hounsfield ou Número de CT:
 - $HU_x = 1000 \times (\mu_x - \mu_{\text{água}}) / \mu_{\text{água}}$
 - Cada pixel é representado por um brilho, ou escala de cinza, correspondente que indica o coeficiente de **atenuação** linear média do tecido em questão.
 - Água referência : seu número CT é similar ao dos tecidos moles e também por ser de fácil obtenção para calibrar os aparelhos.
 - **Convenção**
 - Altos valores de CT são imageados como branco, e baixos como preto.
 - Olho humano não distingue os milhares de coeficientes.
 - Utiliza-se janelas.
 - Graficar somente os valores em uma **certa faixa**.



TC - Tomografia Computadorizada

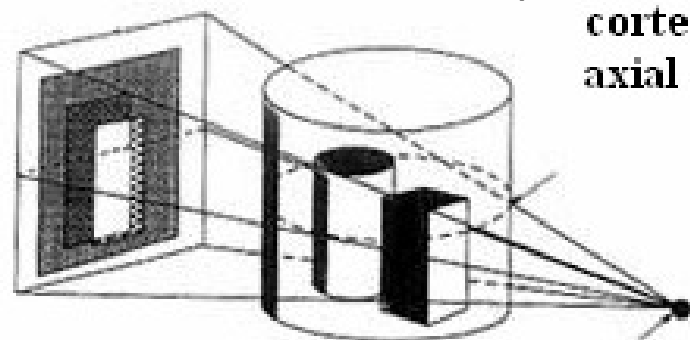
- Conceitos Básicos
 - Escala de Hounsfield





TC - Tomografia Computadorizada

- Conceitos Básicos
 - Plano Axial
 - Corte perpendicular ao maior eixo do corpo.



fonte de
radiação

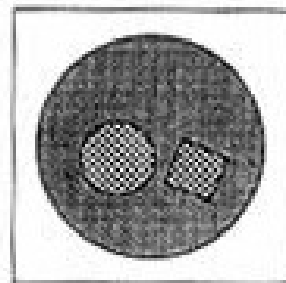
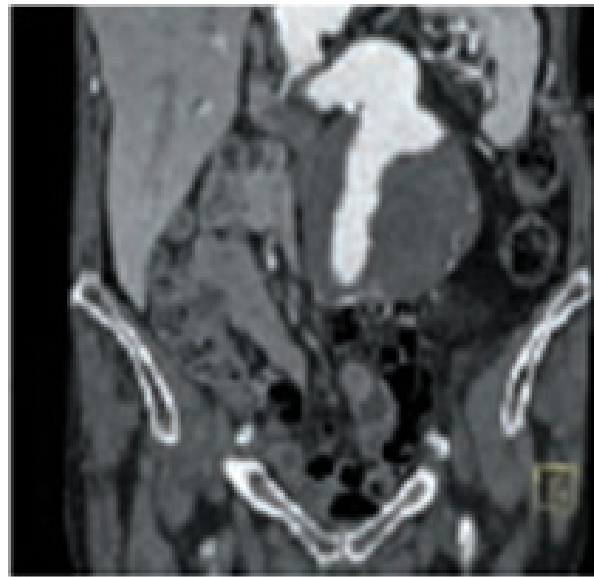
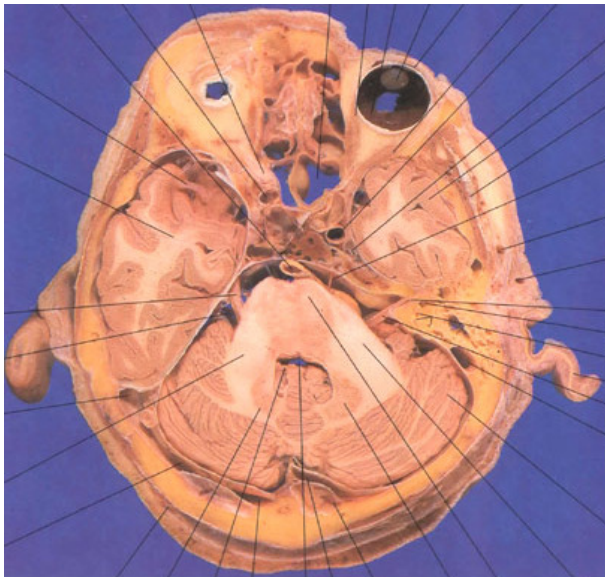


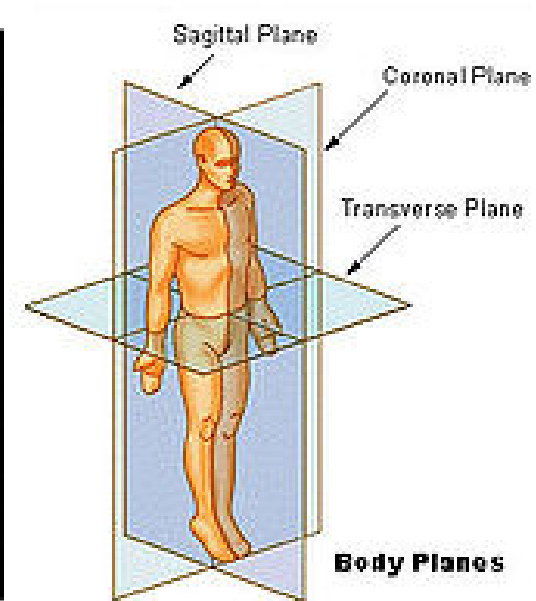
imagem de TC

TC - Tomografia Computadorizada

- Conceitos Básicos
 - Plano Coronal
 - Corte paralelo a sutura coronal do crânio (visão frontal).

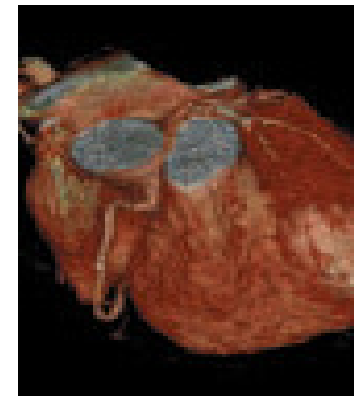
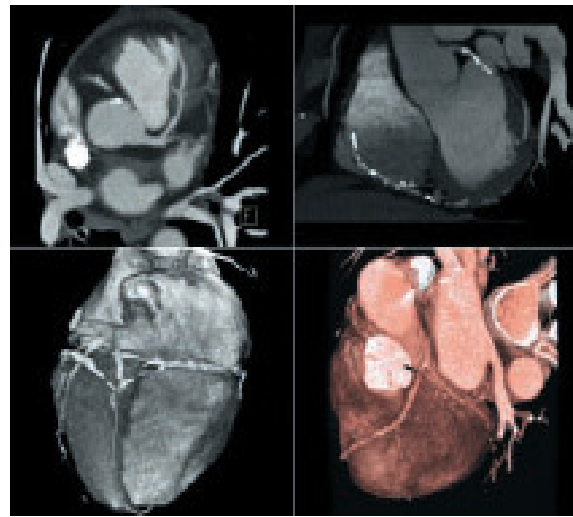


coronary

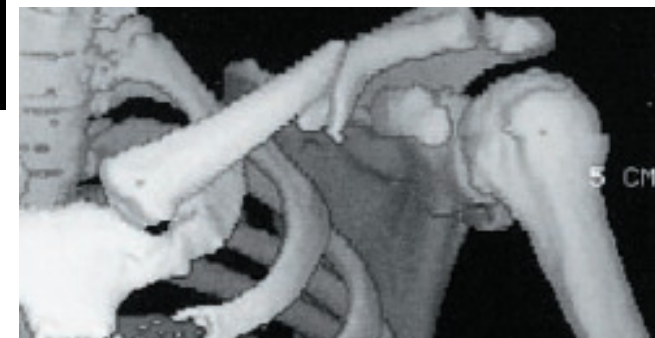


TC - Tomografia Computadorizada

- Conceitos Básicos
 - Plano Sagital
 - Corte paralelo a **sutura** sagital do crânio (reconstrução tri-dimensional)



Suturas: Articulações fibrosas que se encontram entre os ossos do crânio. Popularmente conhecidas como pontos cirúrgicos.





TC - Tomografia Computadorizada

When is a CT examination indicated?

Here are several examples of CT examinations:

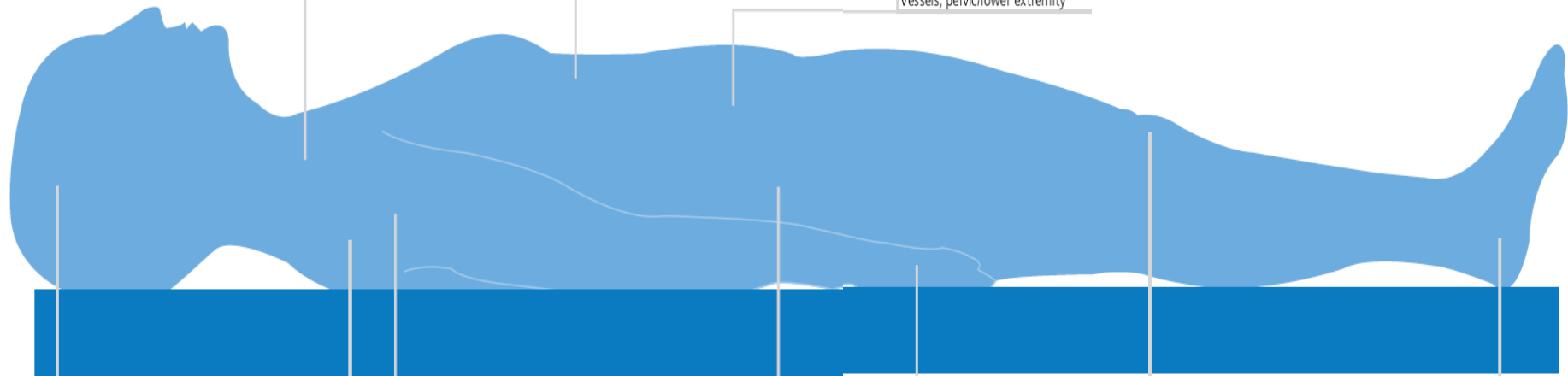
- Head
- Neck
- Thorax
- Abdomen
- Extremities
- Spine

Neck
Cervical soft tissue
Carotids

Thorax
Mediastinum
Thorax high resolution
Thoracic vessels
Pulmonary vessels
Heart

Abdomen/pelvis
Liver
CT-Arteriography (CTAP)
Pancreas
Kidneys, biphasic
Adrenal glands
Renal arteries
Abdominal vessels
Small pelvis
Vessels, pelvic/lower extremity

- Aplicações



Head
Head, general/brain
Orbita
Sella turcica
Petrous bones
Paranasal sinuses
Circle of Willis
3D cranial, facial bone

Spine
Cervical spine
Thoracic spine
Lumbar spine

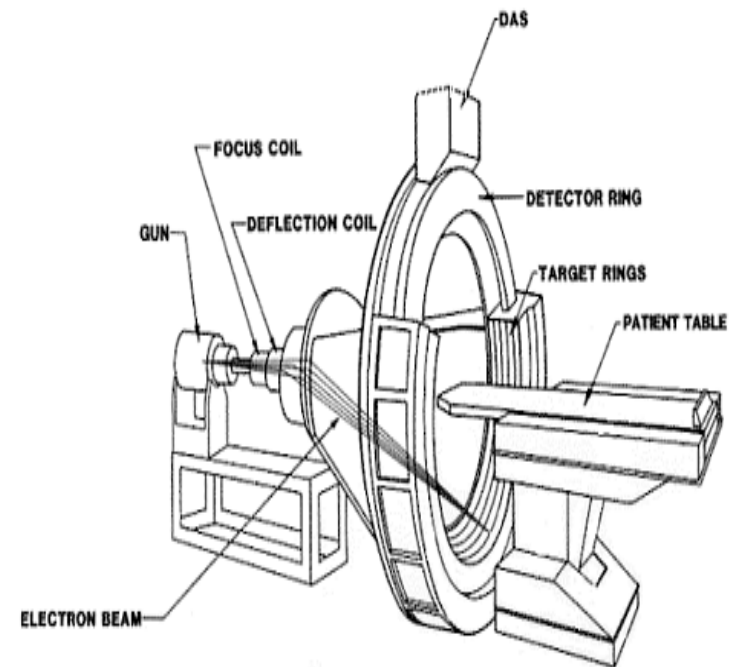
Extremities
Shoulder joint
Hip joint
Wrist bone
Knee joint
Foot



TC - Tomografia Computadorizada

- Princípios de Funcionamento

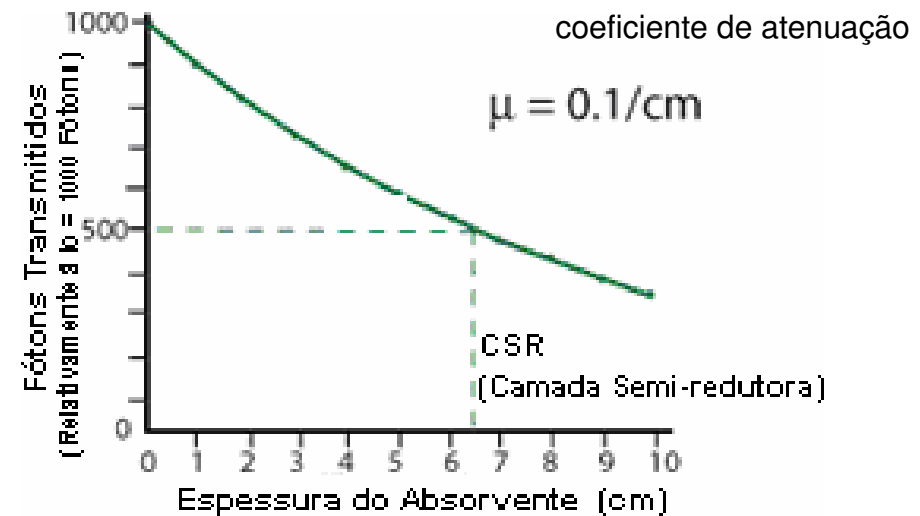
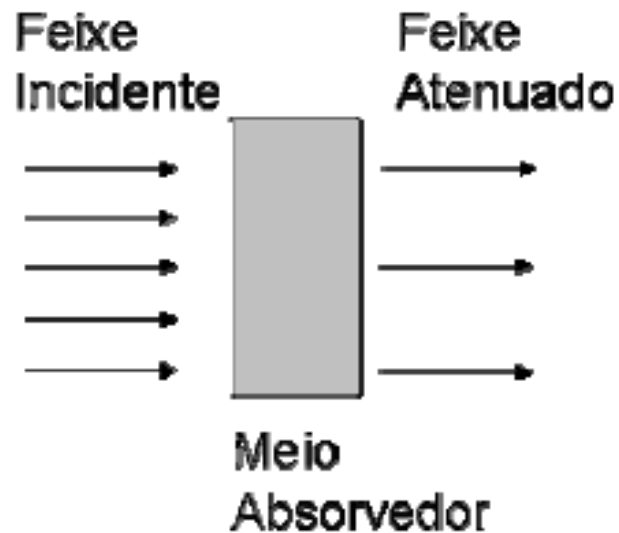
- A TC utiliza um aparelho de raios X que gira em volta do corpo fazendo radiografias transversais.
- As radiografias são convertidas por um computador em “cortes” tomográficos, construindo assim imagens internas da estrutura do corpo através de uma série de seções.
- Um feixe de raios X do calibre de um lápis gira ao redor do paciente formando uma imagem a partir de pequenos blocos de tecidos (voxels), cada um com um determinado valor de absorção conforme as características do tecido escaneado.
- As seções são armazenadas na forma de uma matriz de pixels e **voxels**.
- Os tomógrafos atuais possuem alta velocidade de varredura (*scanning*), que variam entre 1s em tomógrafos convencionais e a até 20ms em alguns tomógrafos.





TC - Tomografia Computadorizada

- Princípios de Funcionamento
 - **Atenuação:** Uma fonte de energia incide em um lado do corpo/tecido, e a energia que atinge/passa para o outro lado do tecido é colida/medida.



$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

I_0 = Intensidade inicial do feixe, ou seja, do coeficiente de energia.
 μ = Coeficiente de atenuação ou meio absorvedor
 x = A espessura do corpo.



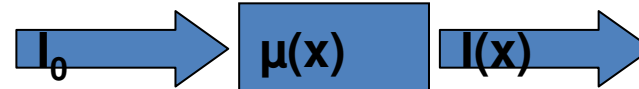
TC - Tomografia Computadorizada

- Princípios de Funcionamento

- Coeficiente de Atenuação Total ou Linear

- μ depende em princípio de duas formas de interação que causam a atenuação nos raios x: Efeito Compton e Efeito Fotoelétrico.
- Assim: $\mu(X) = \mu_C(X) + \mu_F(X)$
- O coeficiente de atenuação $\mu(X)$ depende da Energia do RX
- A intensidade I do feixe emergente está associada à intensidade I_0 do feixe incidente, pela relação onde μ é a probabilidade do feixe sofrer atenuação, devido principalmente ao espalhamento **Compton** e à absorção **fotoelétrica**, sendo denominado Coeficiente de Atenuação Total ou Linear.
- O Efeito Compton μ_C depende da densidade de elétrons do voxel e da densidade total. O Efeito Fotoelétrico μ_F depende de Z^3 etc.

$$\ln(I_0/I(x)) = \int \mu(x) dx$$

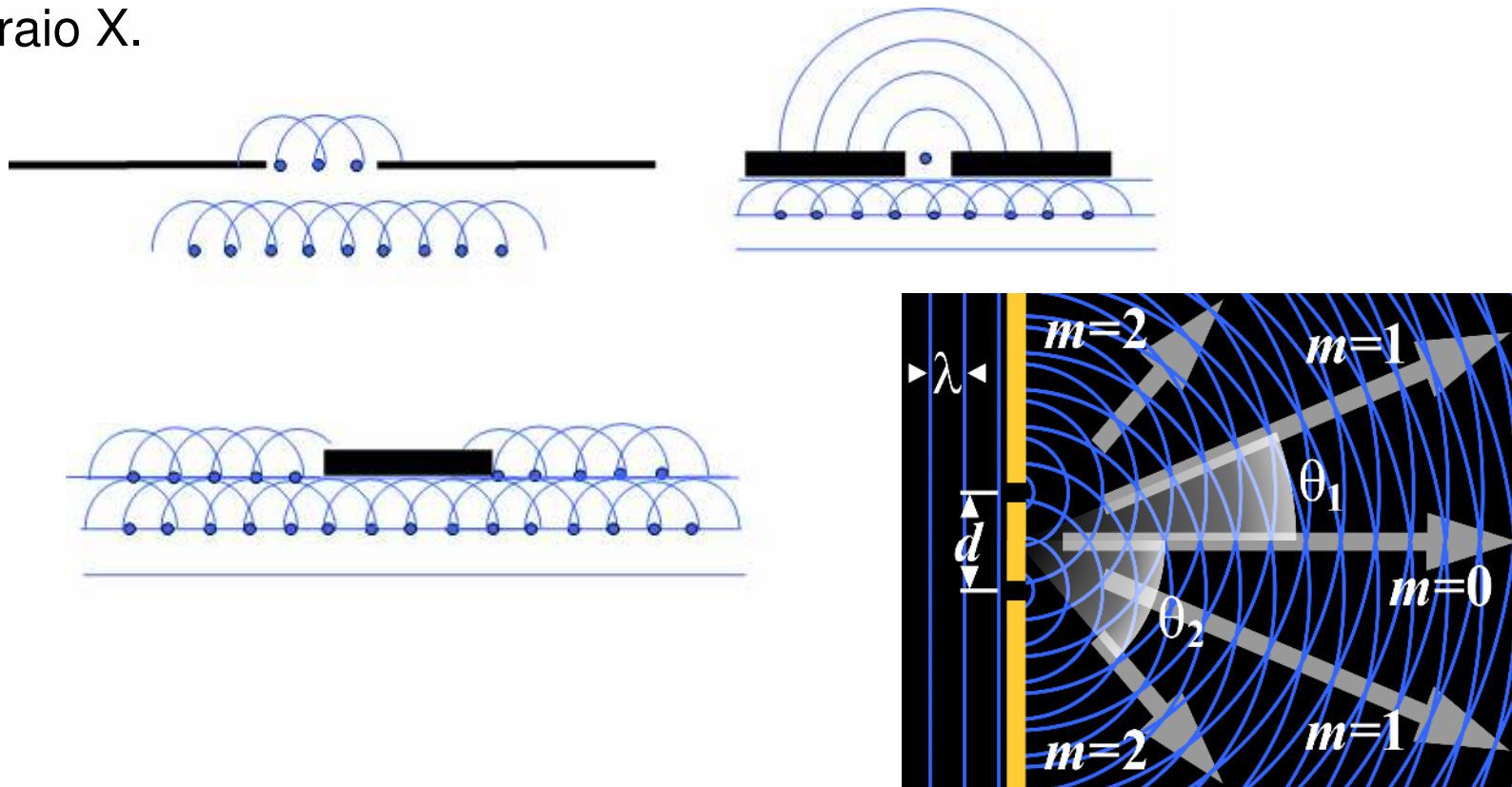


Nota: Espalhamento Compton: é a diminuição de energia (aumento do comprimento da onda) de um foton de raio x ou gama. **Absorção Fotoelétrica:** é o processo pelo qual um eletron é “arrancado” de um átomo através da colisão de um foto gama. Neste caso o foton é absorvido pelo átomo.



TC - Tomografia Computadorizada

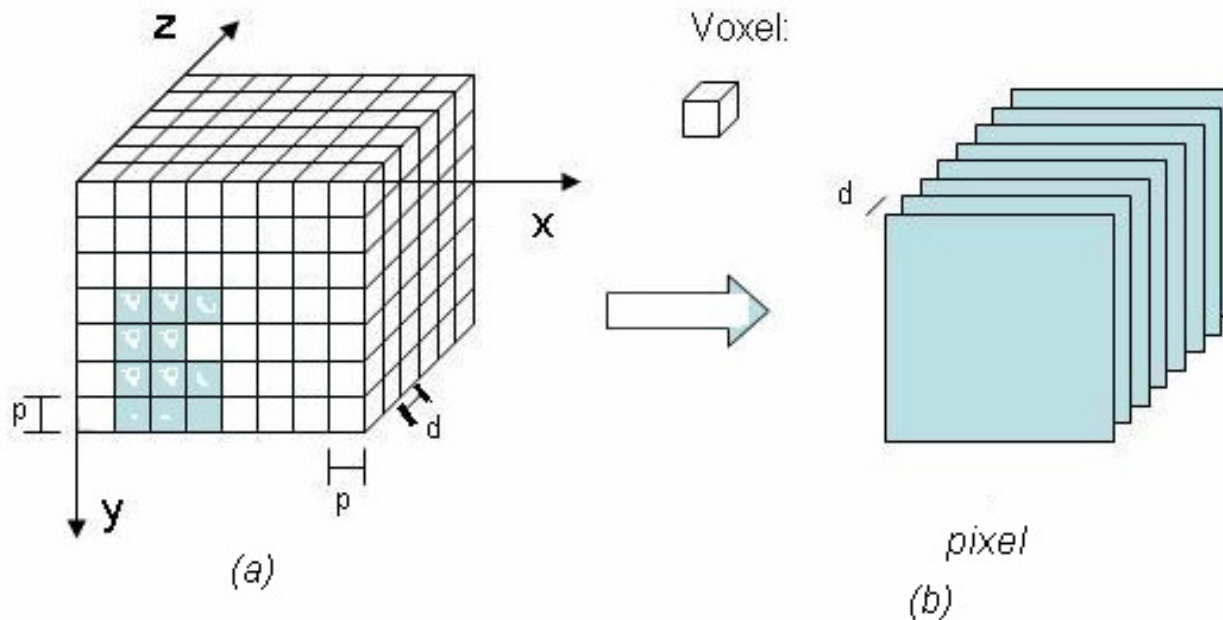
- Princípios de Funcionamento
 - Difração:** Processo usado para determinar o comprimento de onda do raio X.



TC - Tomografia Computadorizada

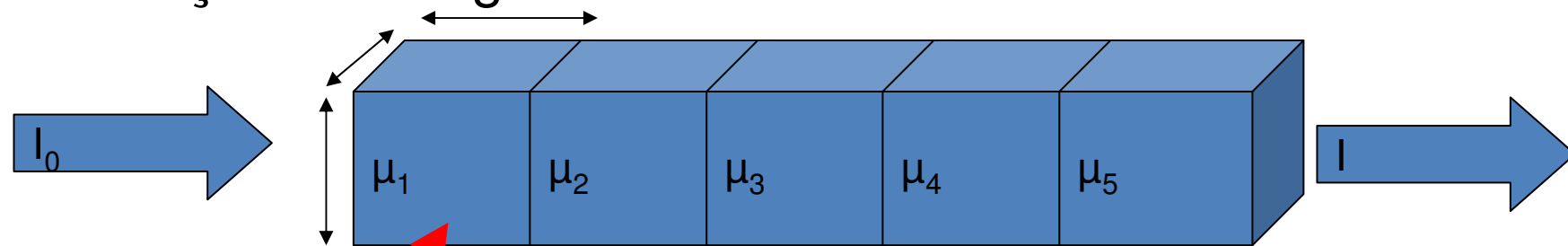
- Formação da Imagem
 - Voxel e Pixel
 - Elementos de Volume
 - Elementos de Retrato

Na imagem final cada pixel representa um ponto de cinza da imagem final obtida em um plano da Tomografia.



TC - Tomografia Computadorizada

- Formação da Imagem

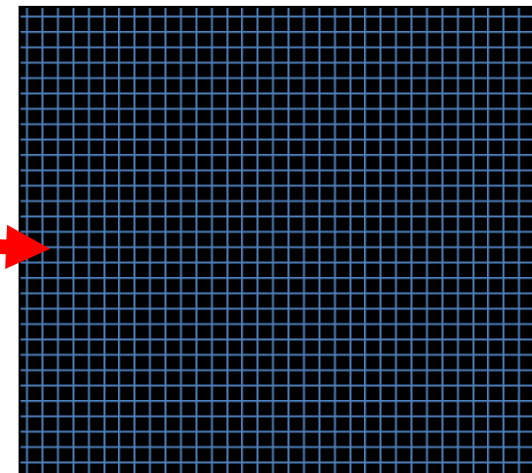


Voxel

$$\ln(I/I_0) = -(\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4 + \mu_5)$$

Formulação discreta de atenuação em cada voxel.

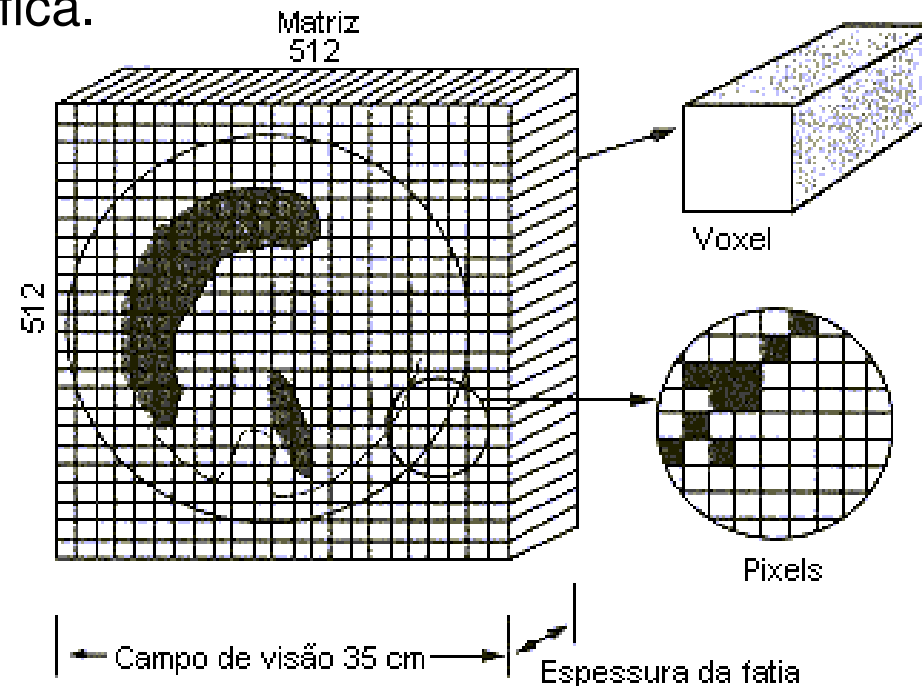
Pixel





TC - Tomografia Computadorizada

- Campo de Visão ou FOV – Fields Of Vision
 - Relação entre o tamanho da máxima da matriz, voxel, e pixel em uma imagem tomográfica.



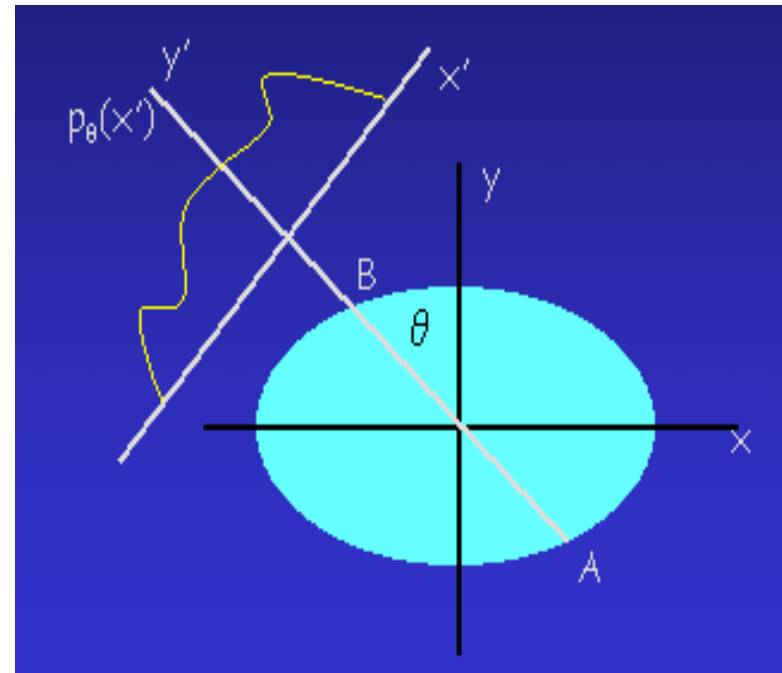
$$\text{Tamanho do pixel} = \frac{\text{Campo de visão}}{\text{Tamanho da matriz}} = \frac{35 \text{ cm}}{512} = 0,7 \text{ mm}$$



TC - Tomografia Computadorizada

- Método Analítico da Reconstrução
 - Encontrar $\mu(x,y)$ dado um conjunto de projeções $p_\theta(x')$ -> Transformada Inversa de Radon.
 - Transformada de Fourier (Teorema de Corte Central)

O TCC Permite “construir” no plano de Fourier $M(u,v)$ a partir das transformadas das projeções $P(u)$ fazendo uma associação radial espacial de seus valores. Uma vez constru-ida a função M , basta fazer a TF bidimensional inversa e obteremos uma estimativa de μ , levando em conta o fator de resolução não homogêneo devido à menor amostragem nas extremidades do plano.

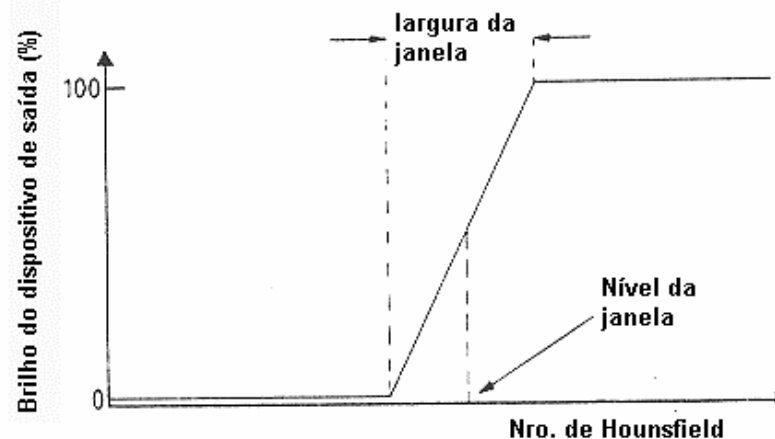




TC - Tomografia Computadorizada

- Janelamento

- Utilizado para ajustar a tomografia (calibração da imagem);
- Largura da Janela: Intervalo de números do branco ao preto;
- Nível da Janela: Nível de cinza correspondente ao CT#. Por exemplo, para 80 keV, se o coeficiente de atenuação linear típico de ossos é de 0,38 , e da água 0,19 , o número CT dos ossos é de +1000 e o da água é 0.
- Para os tecidos em geral, o CT# depende da energia do feixe empregado.





TC - Tomografia Computadorizada

- Qualidade das Imagens
 - Possui relação direta entre contraste, ruído, resolução espacial e dose no paciente.
- **Contraste**
 - Contraste da CT (nos dados "brutos"): diferença entre o nro. de Hounsfield de tecidos adjacentes. Depende do kVp (aumenta com a diminuição do kVp) e pode ser artificialmente modificado com o uso de substâncias tais como o iodo.
 - O ruído pode dificultar a detecção de objetos de baixo contraste.
 - Contraste no display: determinado primariamente pelas opções de janelamento.



TC - Tomografia Computadorizada

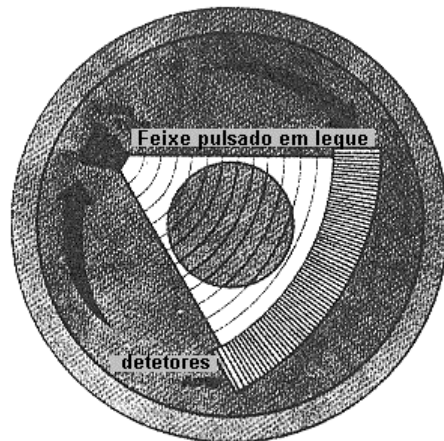
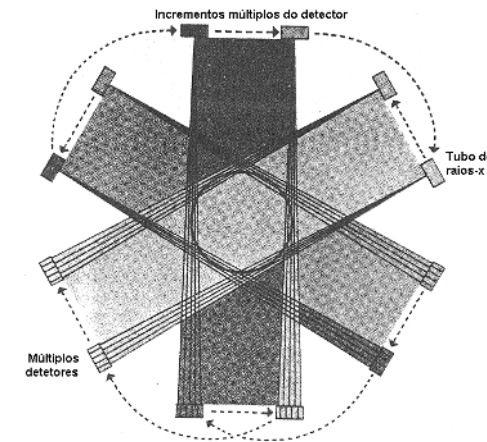
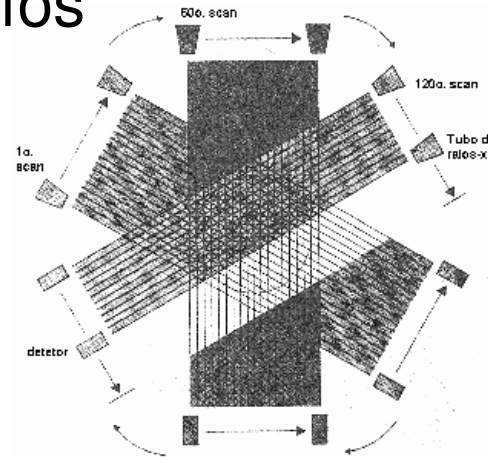
- Ruído

- Definido primariamente pelo número de fótons utilizado para fazer uma imagem.
- Para uma média 100 fótons, o desvio padrão é dado por raiz (100) = 10, isto é, 10% da média.
- Isto significa que 68% das medidas feitas nas mesmas condições
- vão apresentar resultados dentro de 1 desvio padrão (isto é, entre 90 e 110).
- Para uma média de 1000 fótons, o desvio padrão é raiz(1000) ~ 32, ou 3,2% da média.
- O ruído pode ser reduzido aumentando o kVp, a mA ou o tempo de scan.

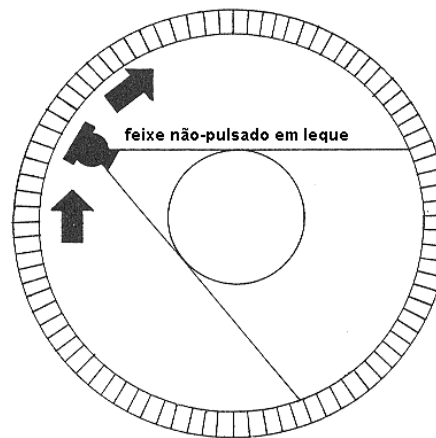
TC - Tomografia Computadorizada

• Gerações dos Tomógrafos

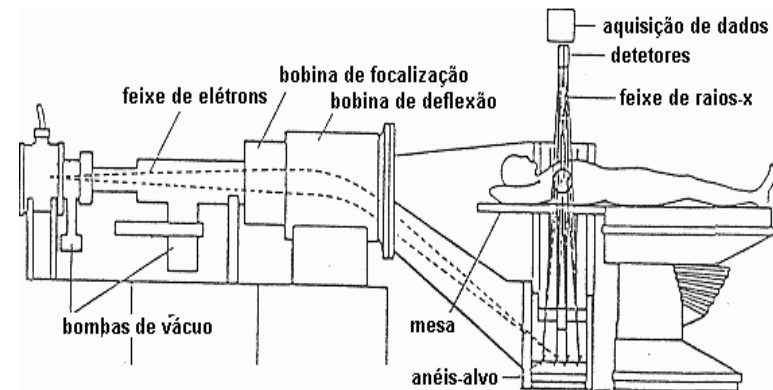
- Primeira Geração
- Segunda geração
- Terceira Geração
- Quarta Geração
- Quinta geração



Scan contínuo de 360°



Anel estacionário de detetores (360°)





FIM!

Thanks!!