

SEL 397 - PRINCÍPIOS FÍSICOS DE FORMAÇÃO DE IMAGENS MÉDICAS

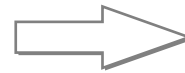
Prof. Homero Schiabel



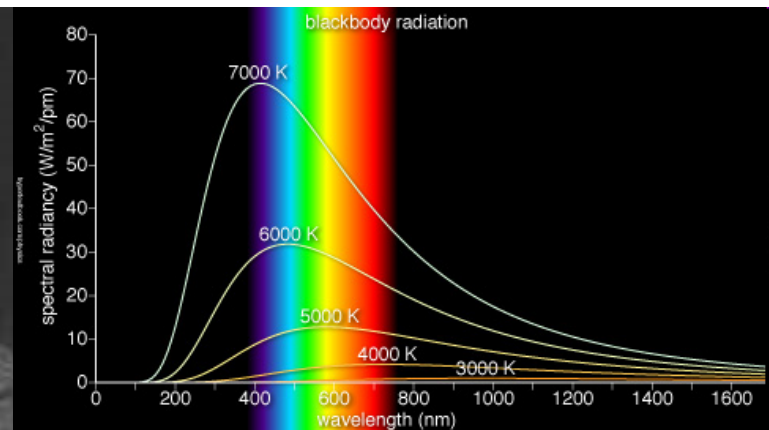
- Max Planck (1901): teoria dos *quanta* → E depende da frequência de radiação (ou de λ):

$$E = h \nu$$

$$\nu = c / \lambda$$

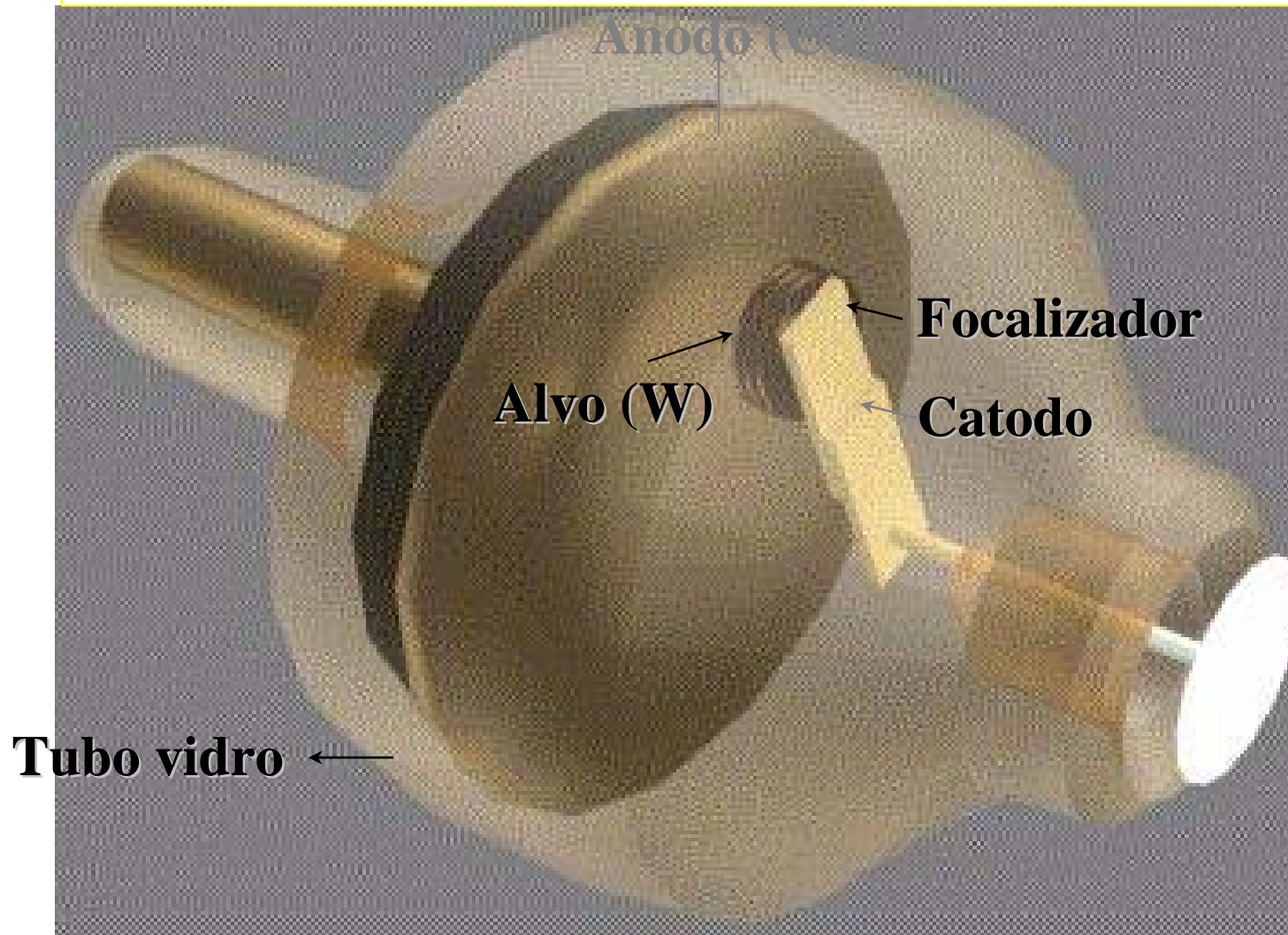


$$E = h c / \lambda$$

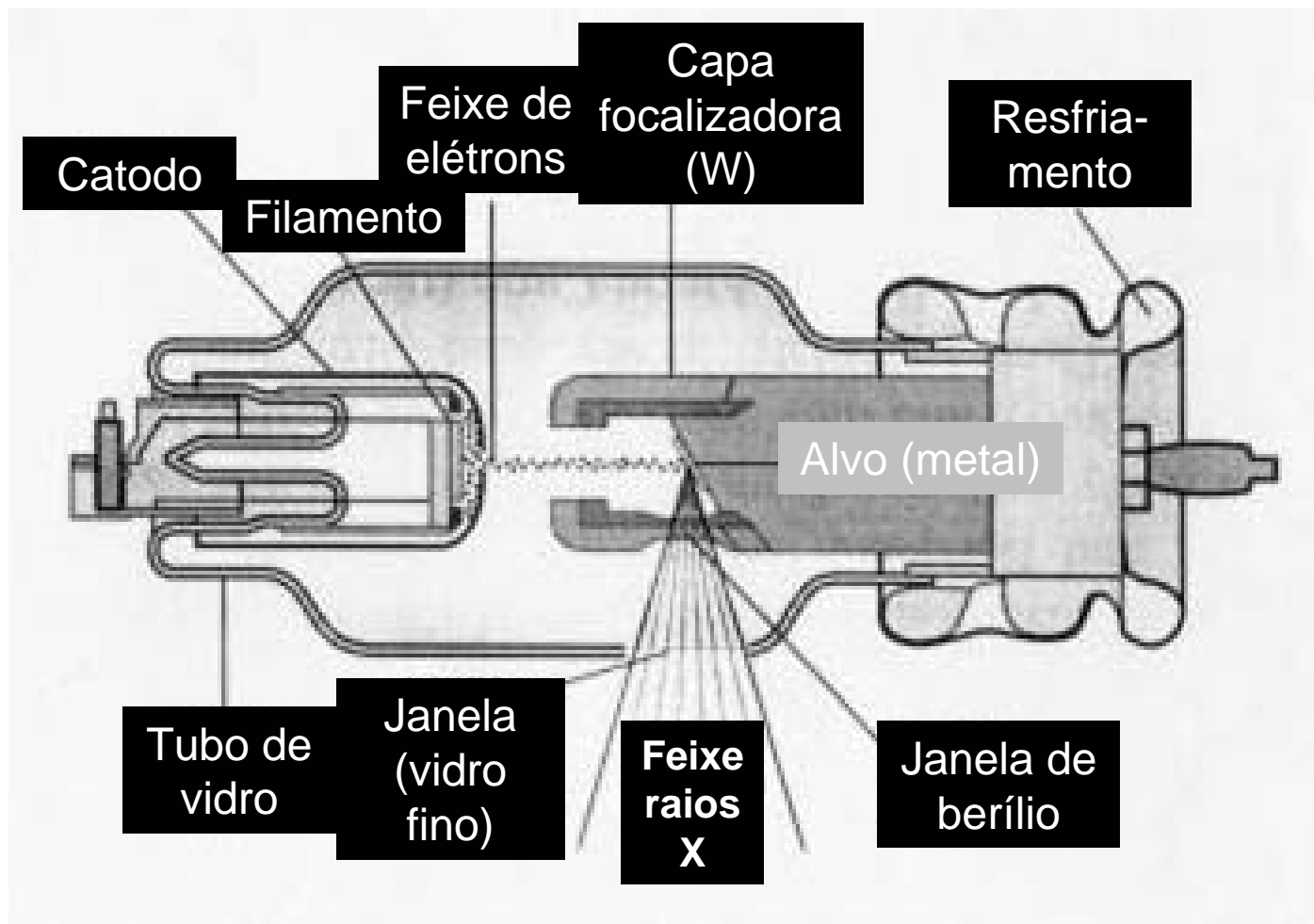


4. PRODUÇÃO DE RAIOS X

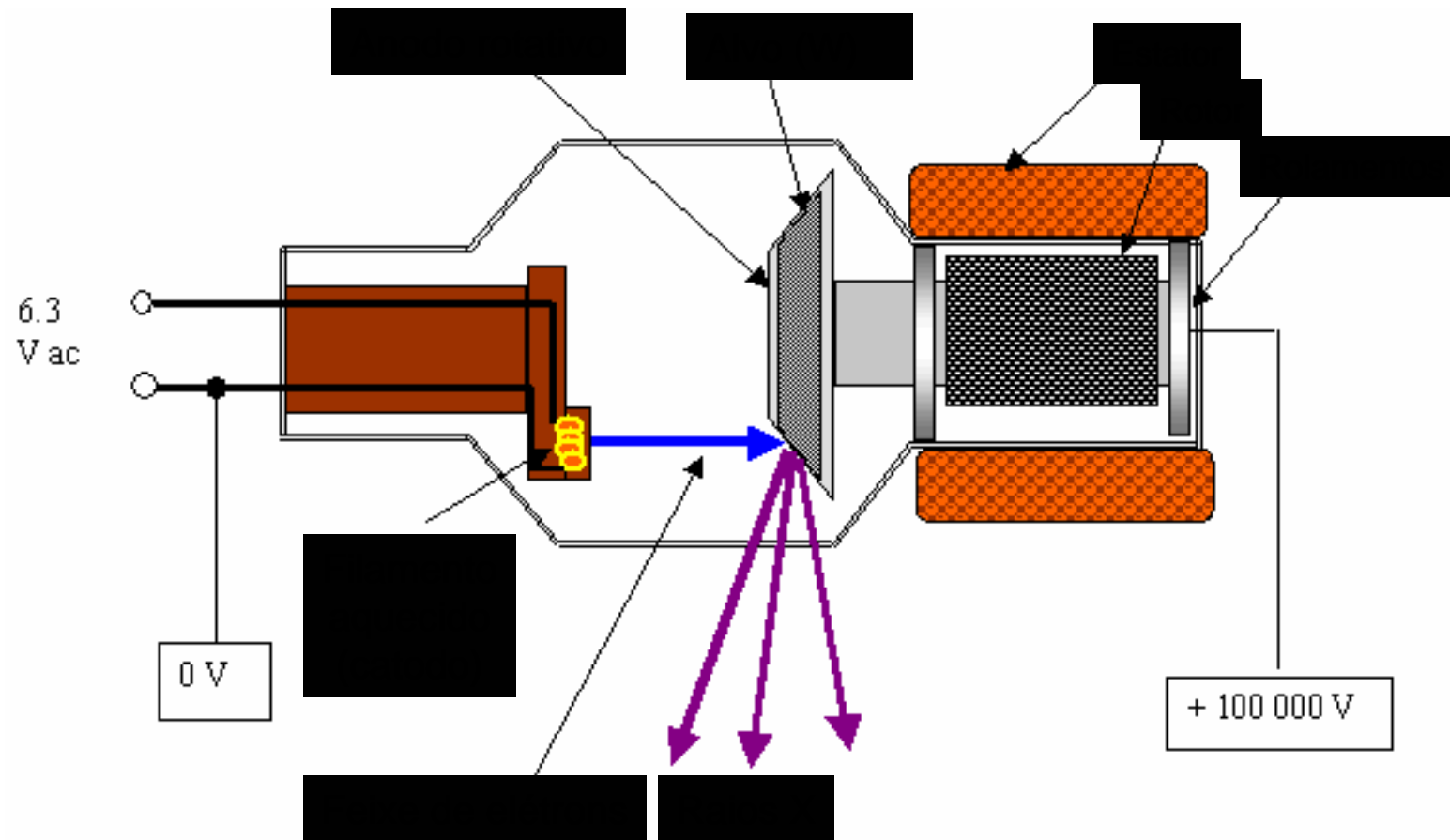
Tubo de Raios X (Anodo estacionário)



Tubo de Raios X (Anodo estacionário)



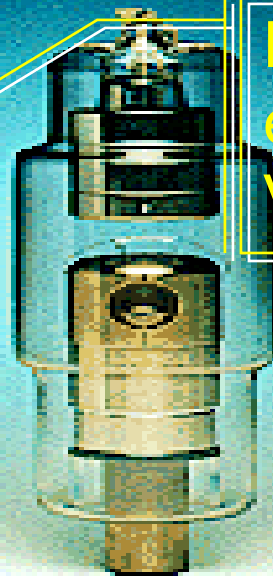
Tubo de Raios X (Anodo rotativo)



- Eletrodos submetidos a uma alta ddp (milhares de V);
- elétrons do filamento emitidos em direção ao alvo e subitamente desacelerados → E → calor e R-X

$$E = e \cdot V$$

E = energia do e^-
e = carga do e^-
V = tensão entre os eletrodos [KV]





Tubo de 1900



Tubo rotativo Siemens (meados séc. XX)

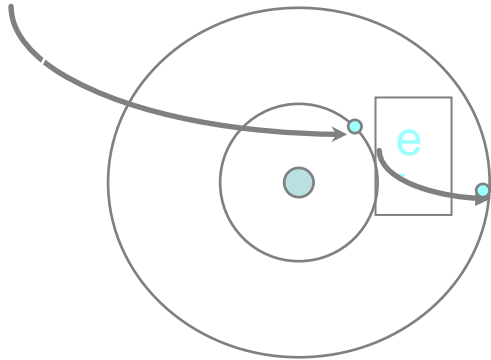
4.1. Excitação e Ionização

- Se denotarmos E_1 como a energia original de um e^- orbital e E_2 como sua energia final, a energia de um *quantum* será:

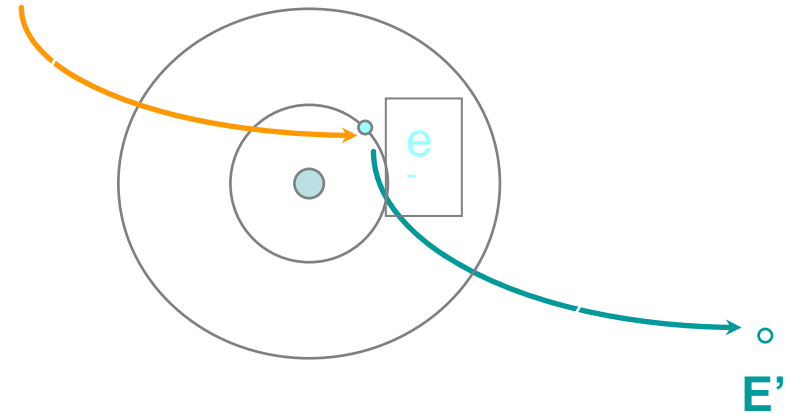
$$E = h \eta = E_2 - E_1 \quad (1)$$

- Quando um *quantum* tem energia tal que possibilite levar o e^- a uma órbita mais alta → **EXCITAÇÃO**
- Quando um e^- orbital recebe energia suficiente para escapar do átomo → **IONIZAÇÃO**

$$E = h \nu$$



EXCITAÇÃO



IONIZAÇÃO

$$E' = h \nu - B$$

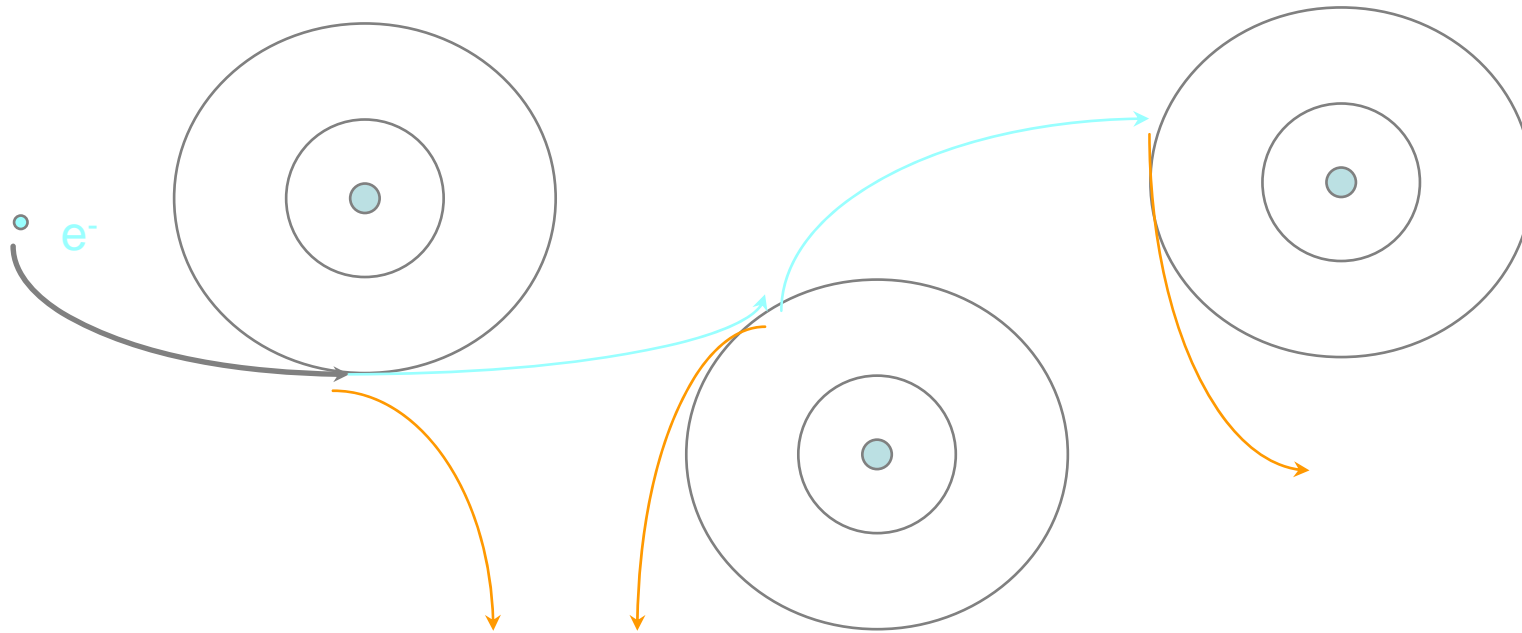
E' = Energia cinética do elétron livre;

B = Energia de ligação do elétron ao átomo

- Ionização causada pela absorção de radiação eletromagnética → **ABSORÇÃO FOTOELÉTRICA**
→ fóton incidente desaparece após a ejeção do elétron.
- Emissão de elétrons da superfície de uma substância como resultado da irradiação por ondas eletromagnéticas → **EFEITO FOTOELÉTRICO**

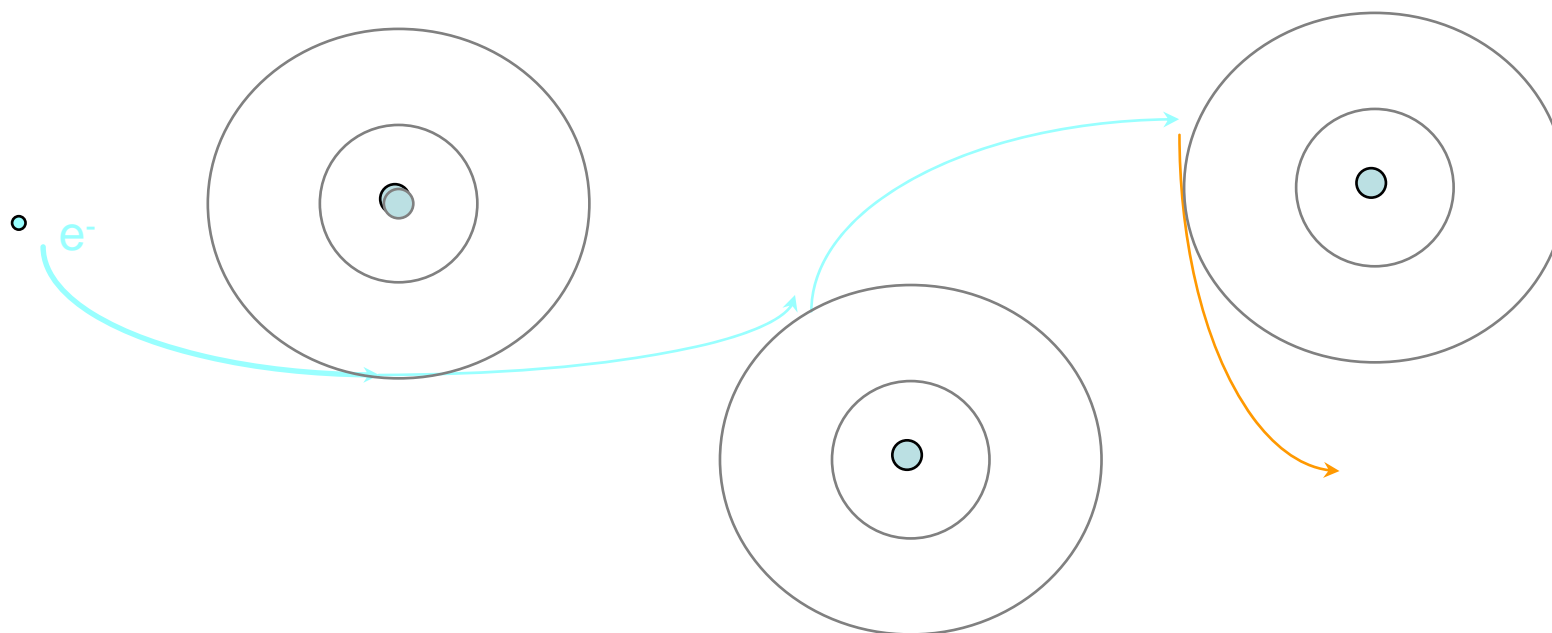
4.2. Possíveis interações entre os elétrons do feixe e os átomos do alvo no tubo de raios X

1



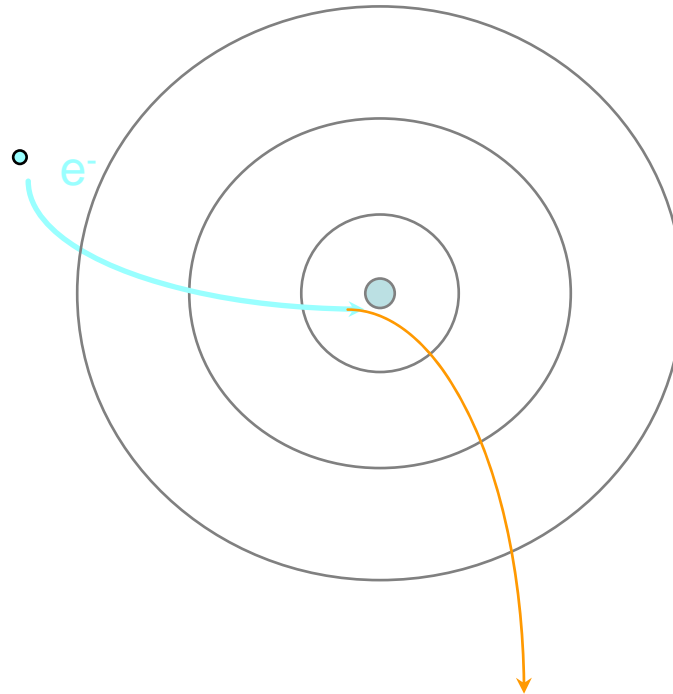
elétron sofre 3 deflexões e produz 3 fótons de raios X

2



elétron sofre 3 deflexões e produz ionização, calor e um fóton de raios X

3

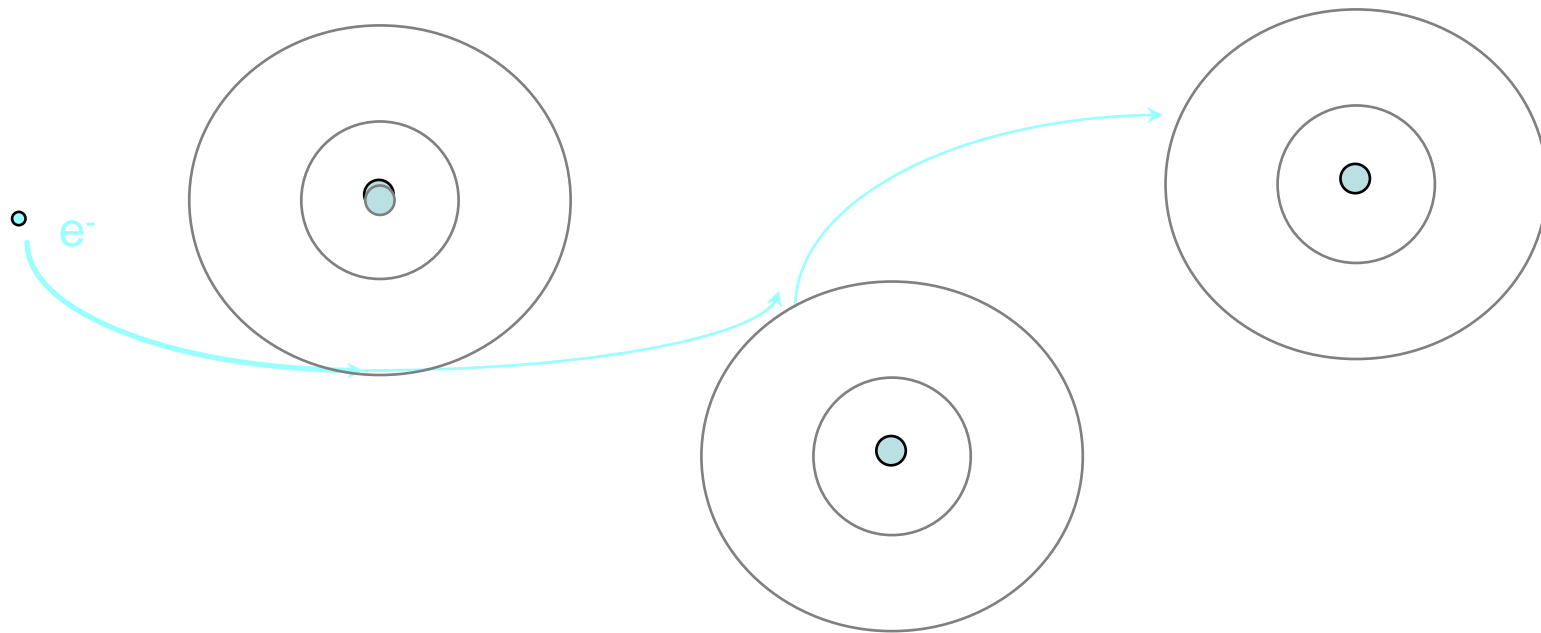


elétron perde toda sua energia numa única colisão:

➤ fóton X de máxima energia;

➤ $E = hc / \lambda = eV \quad \rightarrow \quad \lambda_{\text{mín}} = 12,4 / kV \text{ [A]}$

4



elétron sofre 3 deflexões, produzindo ionizações e calor

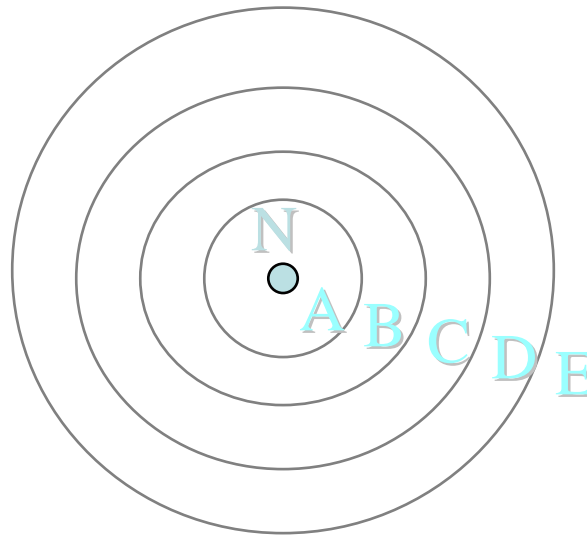
(*) **OBS.:** rendimento $\rightarrow \eta = Z V 10^{-9}$

4.3. Espectro de raios X

Espectro Contínuo

- Raios X podem assumir qualquer valor de intensidade, desde 0 até a máxima energia (numericamente = kVp)

A - 100
B - 80
C - 60
D - 40
E - 20

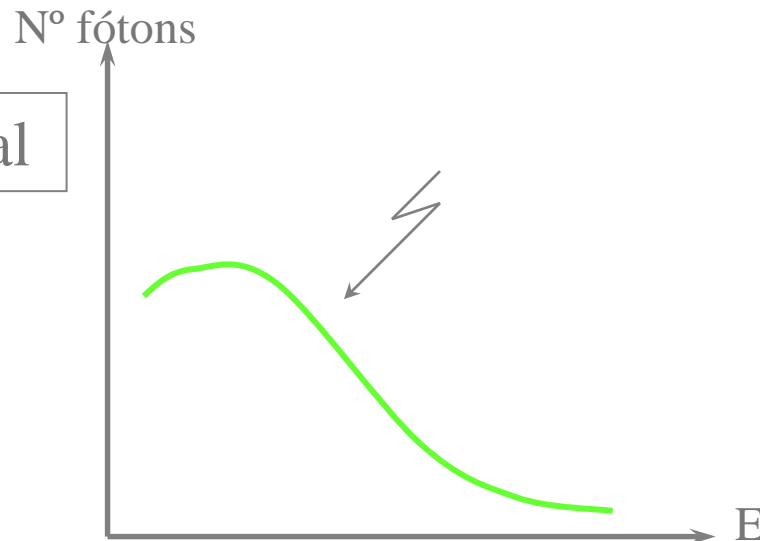


- Probabilidade de interação de um elétron do feixe com elétrons orbitais de cada camada para a produção de fótons de raios X:

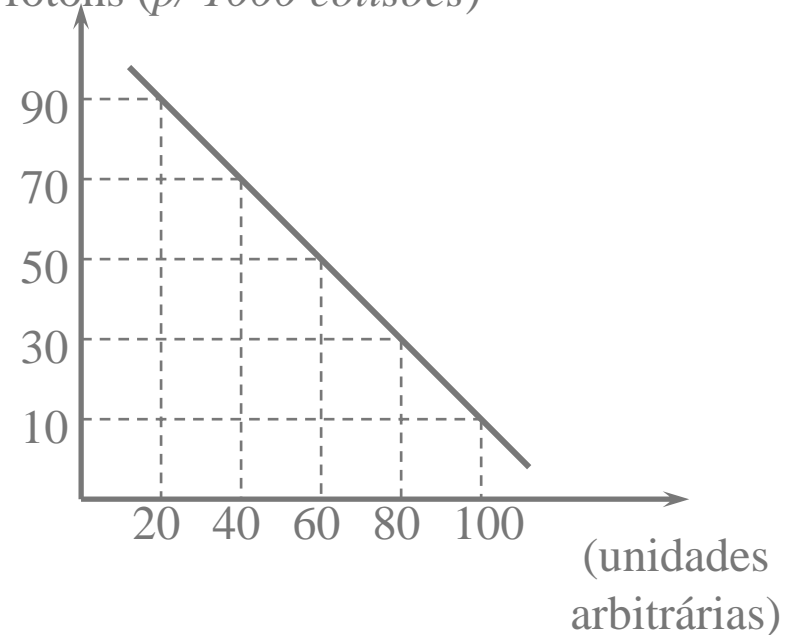
E - 9/100 D - 7/100 C - 5/100 B - 3/100 A - 1/100

- Supondo 1000 colisões:

Espectro real

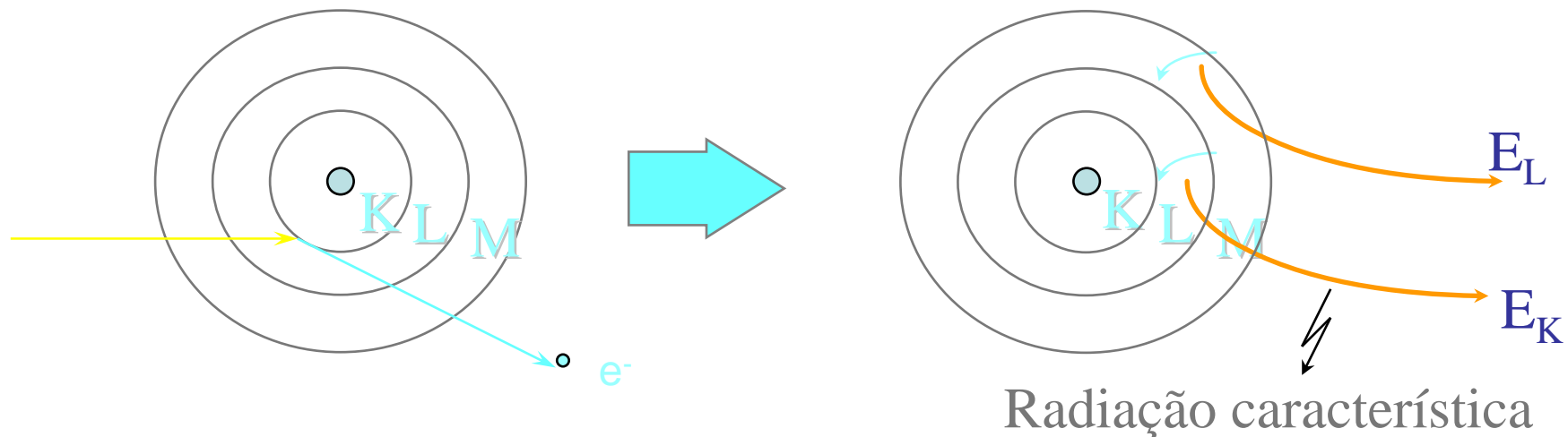


Nº fótons (p/ 1000 colisões)



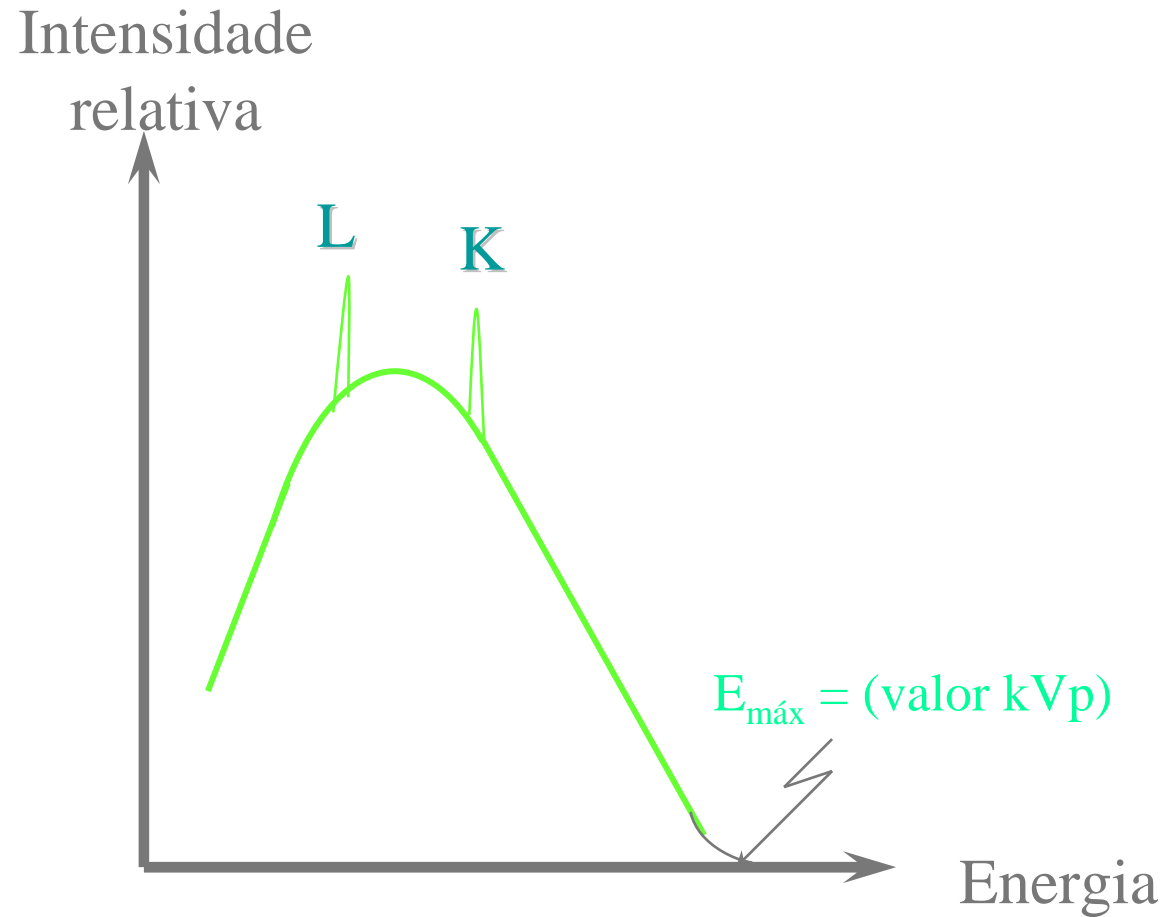
Espectro de Linhas

- Interação dos e^- do feixe com e^- orbitais dos átomos do alvo \rightarrow e^- ou fótons produzidos no alvo removem e^- das camadas mais internas dos átomos \rightarrow ionização \rightarrow e^- das camadas superiores (+ externas) decaem, ocupando o espaço vazio das camadas inferiores \rightarrow emissão de fótons de energia característica (radiação característica).



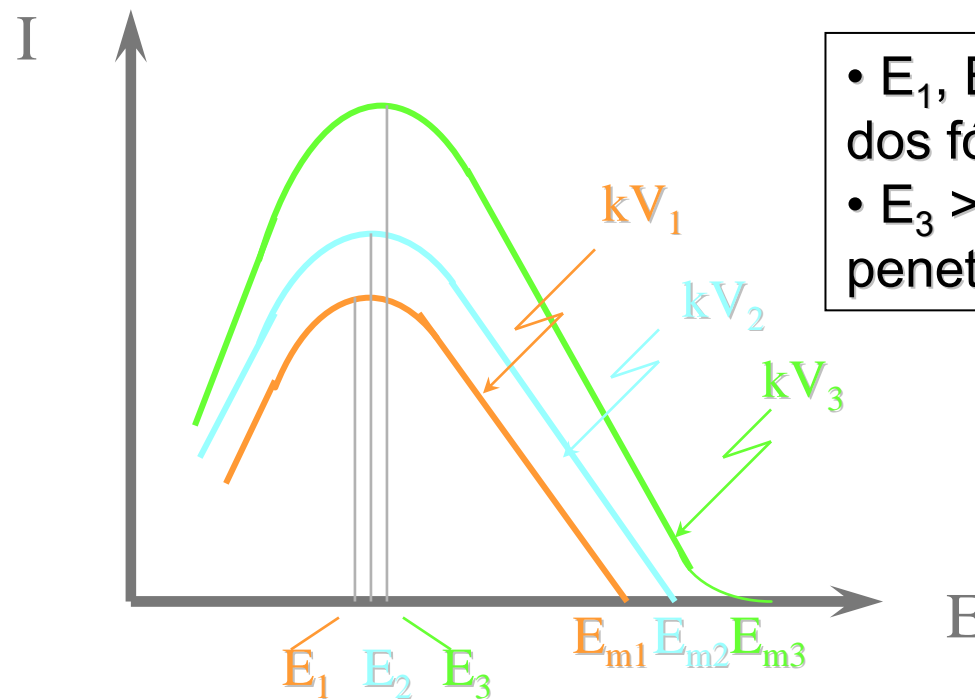
Energia maior = E_K (órbita mais próxima do núcleo)

Espectro total (“Bremsstrahlung” + característico):



4.4. Fatores que afetam o espectro de raios X

- Tensão entre os eletrodos (kVp)



- E₁, E₂, E₃: energia da maioria dos fótons produzidos
- E₃ > E₂ > E₁ → > poder de penetração dos fótons

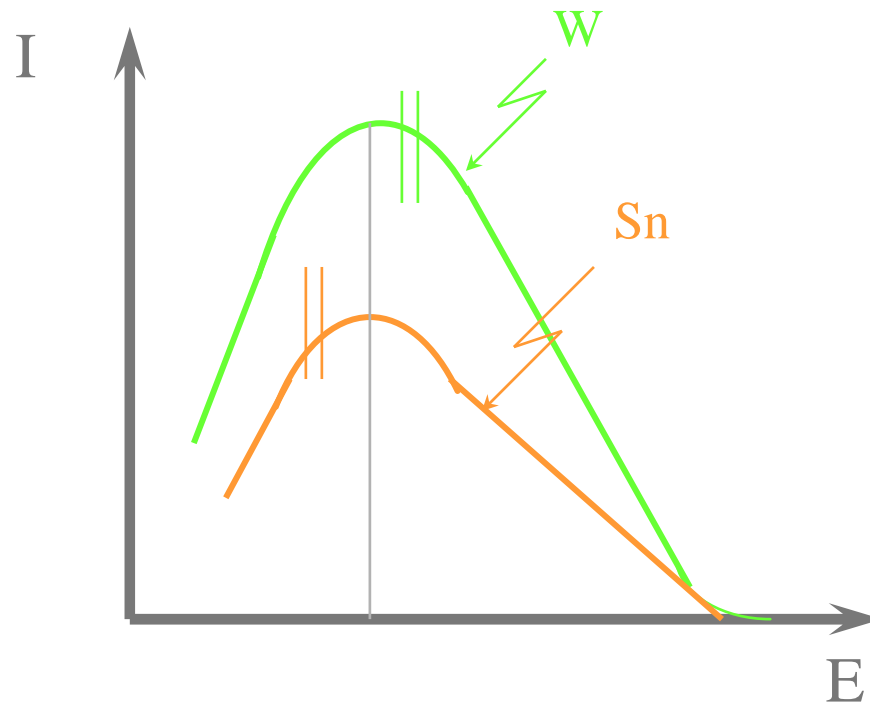
Quantidade de fótons produzidos
aumenta com a kV:

qualidade do feixe proporcional à kV

quantidade de fótons proporcional a (kV)²

- Corrente de tubo (mA)

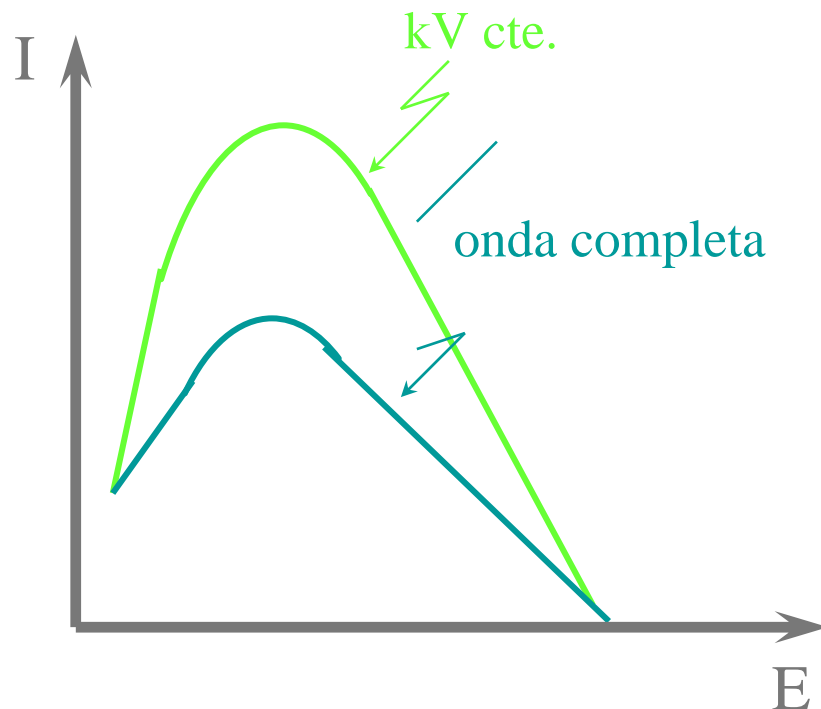
- Quanto mais corrente no tubo, maior a quantidade de elétrons produzidos no feixe e, portanto, maior quantidade de fótons de raios X.



- Material do alvo

- Alvos com n° atômico maior produzirão mais fótons;
- para uma dada kVp, o máximo da intensidade sempre ocorre para uma dada energia dos fótons

- Forma de onda (retificação)



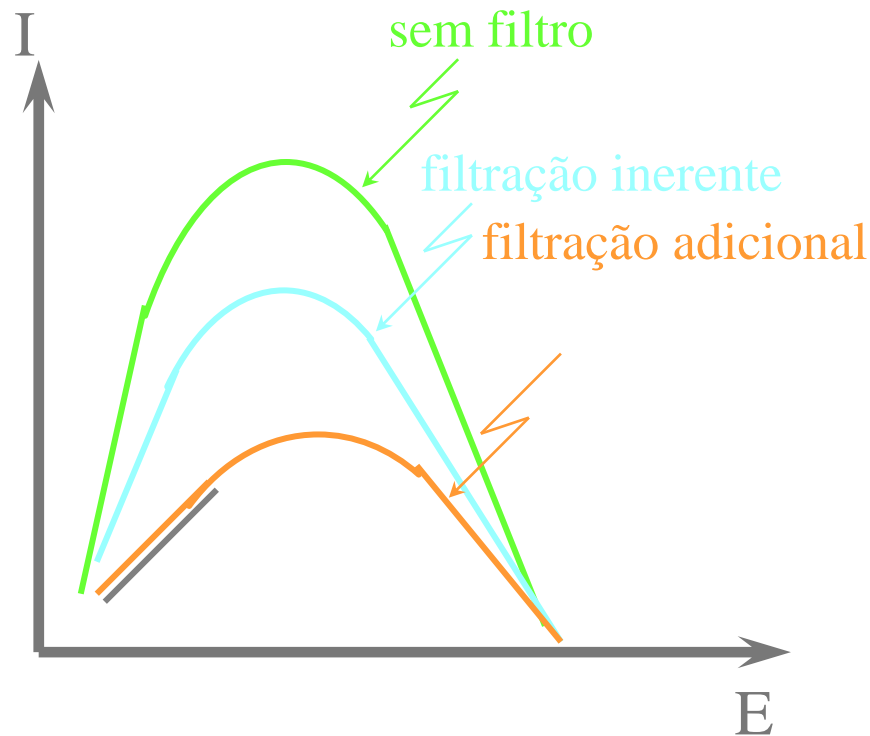
- Filtros

- *Filtração inerente*: filtração inevitável do feixe ao ser emitido a partir do alvo (vidro do tubo);

- fótons com energia mais baixa sofrem maior absorção e, como são mais facilmente absorvidos pela matéria, não são adequados para formação da imagem, já que não contribuem para impressionar o filme

- *Filtração adicional*: elimina fótons de energia mais baixa

● Forma de onda (retificação)



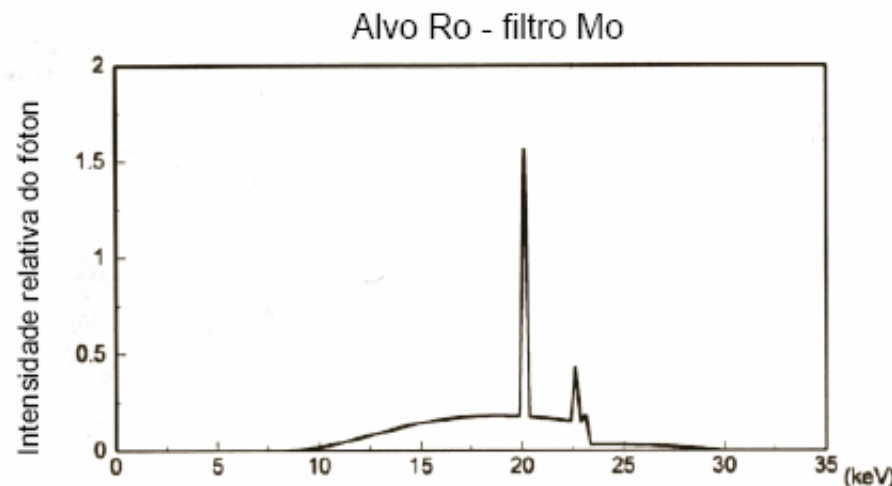
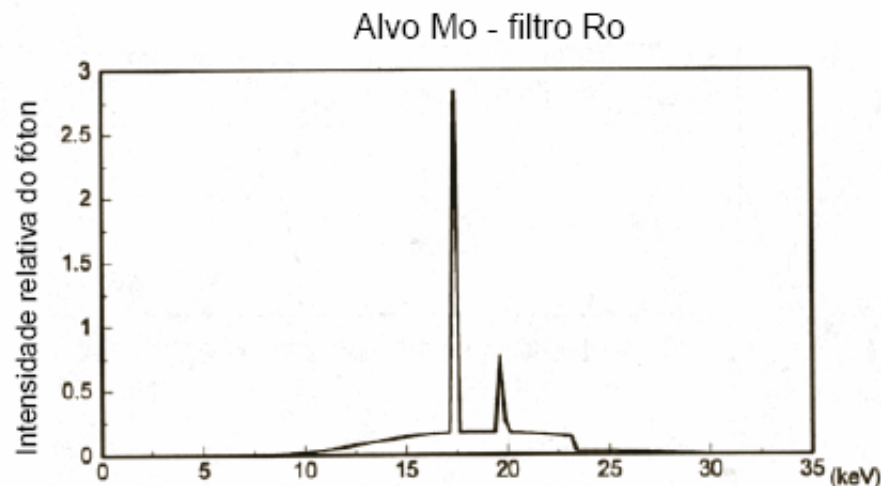
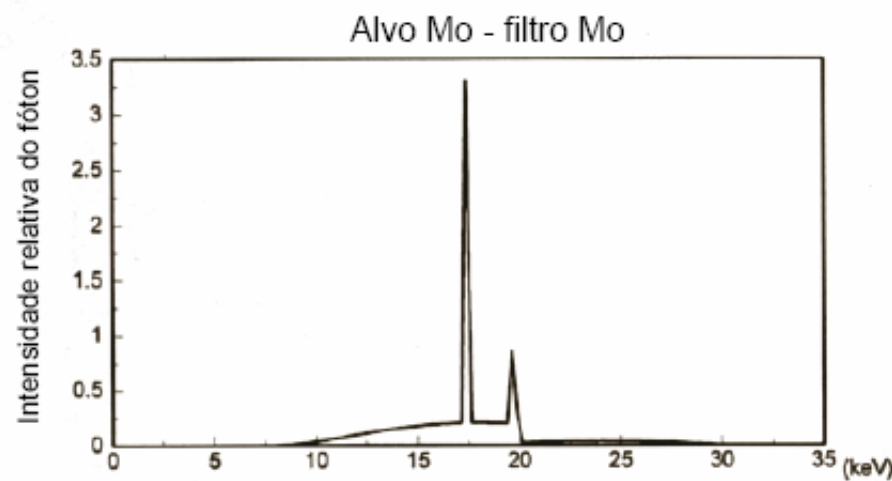
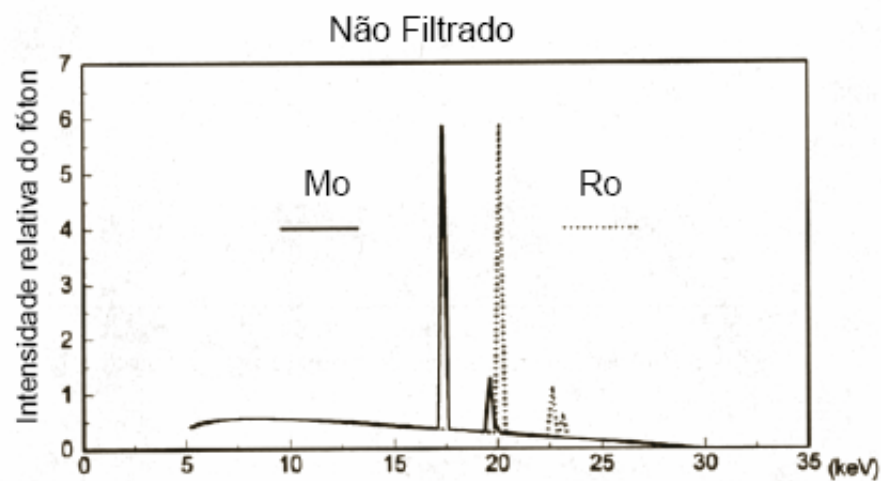
● Filtros

- *Filtração inerente:* filtração inevitável do feixe ao ser emitido a partir do alvo (vidro do tubo);

- fótons com energia mais baixa sofrem maior absorção e, como são mais facilmente absorvidos pela matéria, não são adequados para formação da imagem, já que não contribuem para impressionar o filme

- *Filtração adicional:* elimina fótons de energia mais baixa

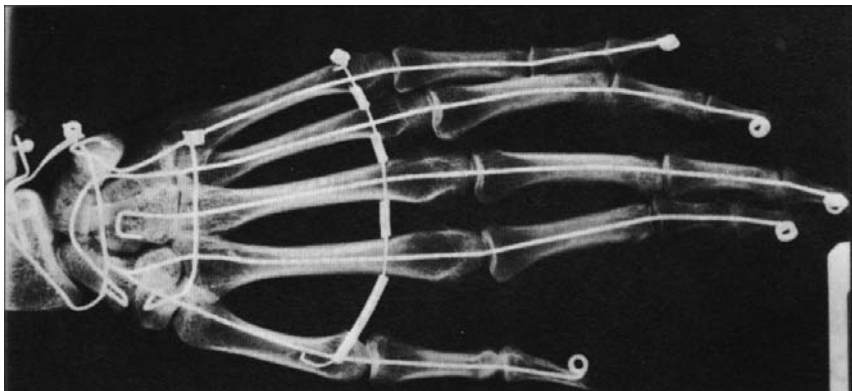
Espectros - Exemplos



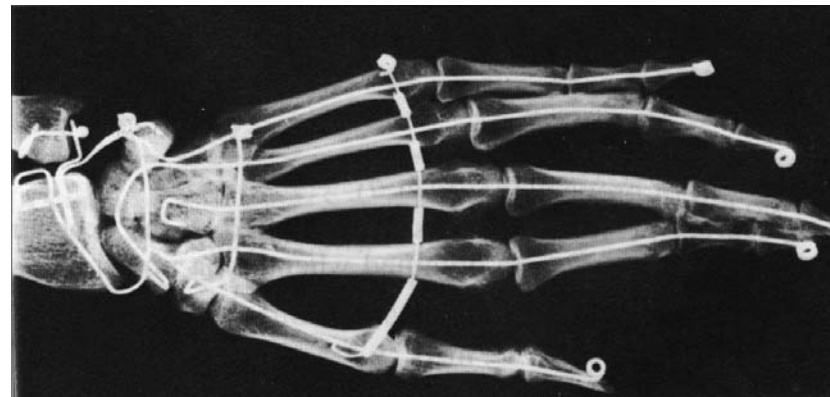
4.5. Fatores que afetam o espectro do feixe R-X

FATOR	INTENSIDADE	QUALIDADE	COMENT.
mA	$I \propto \text{mA}$	não afetada	formato espectro não afetado
kVp	$I \propto (\text{kVp})^2$	$Q \propto \text{kVp}$	-
Z (alvo)	$I \propto Z$	não afetada	-
retificação	> para kV cte.	idem	forma onda altera o espectro
filtração	$I \propto 1/f$	$Q \propto f$	filtros removem R-X moles
dist. focal	$I \propto 1/d^2$	não afetada	Lei Inv. Quadrado da Distância

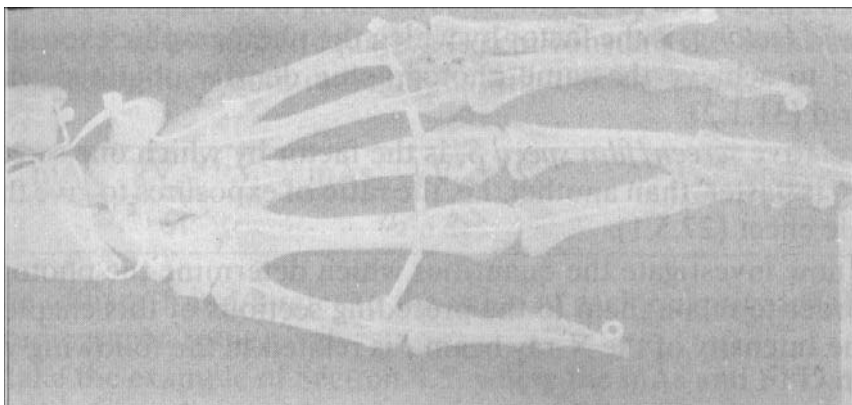
Ex. prático da Lei do Inverso do Quadrado da Distância



$d_{FF} = 50 \text{ cm} - 6 \text{ mAs}$



$d_{FF} = 100 \text{ cm} - 24 \text{ mAs}$



$d_{FF} = 100 \text{ cm} - 6 \text{ mAs}$

(*) $kVp = 50$ em todos os casos