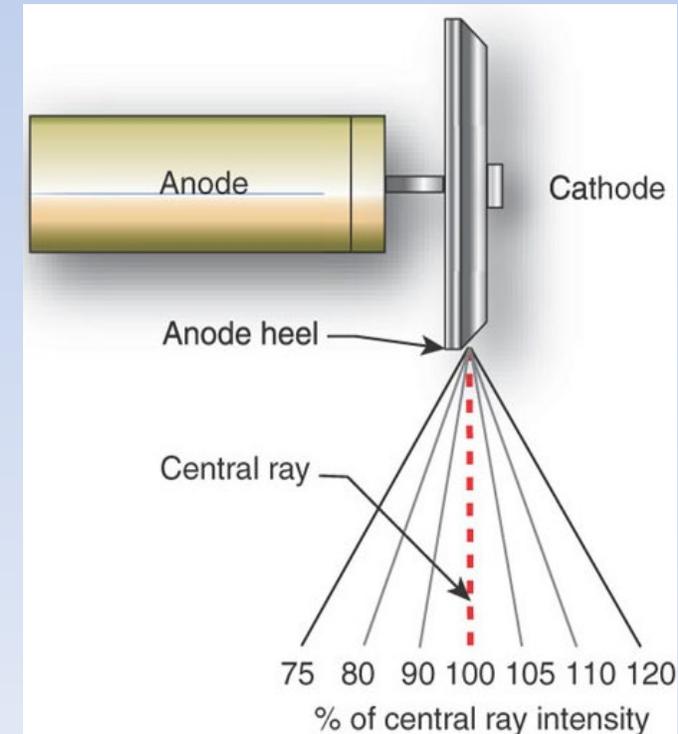


Tubo de Raios-X: Estrutura e Função



Prof. Sanjay Arya



Estrutura do Tubo de Raios-X

- **Estrutura Externa**

- Estrutura de Suporte: Sustenta e estabiliza o tubo.
- Carcaça de Proteção: Protege contra vazamento de radiação.
- Envoltório de Vidro ou Metal: Contém os componentes internos e mantém um ambiente controlado.

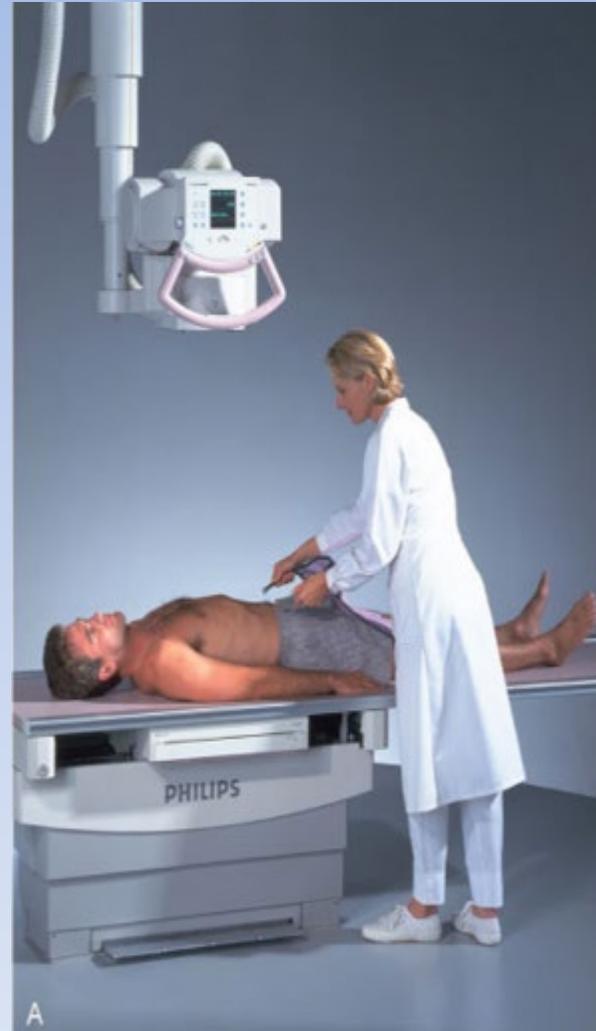
- **Estrutura Interna**

- Cátodo: Carregado negativamente, gera elétrons.
- Ânodo: Carregado positivamente, recebe elétrons para produzir raios-X.
- Ambiente de Vácuo: Assegura o fluxo eficiente de elétrons entre o cátodo e o ânodo.



Sistemas de Suporte para Tubos de Raios-X

- Existem diferentes sistemas de suporte para posicionar o tubo de raios X:
 - A. Montagem no Teto: Suspende o tubo do teto, permitindo livre movimento sobre a mesa de exame.
 - B. Montagem do Chão ao Teto: Um suporte montado no chão que se estende até o teto, proporcionando estabilidade para ajustes verticais.
 - C. Suporte em C: Em forma de "C", este sistema permite que o tubo se mova em várias direções, comumente usado em cirurgias.



Carcaça de Proteção do Tubo de Raios-X

- Mechanical Support: Protege o tubo de raios-X contra danos durante o manuseio.
- Isolamento: Contém óleo ao redor do tubo de raios-X para:
 - Isolamento Elétrico: Gerencia alta tensão.
 - Isolamento Térmico: Evita superaquecimento.
- Segurança contra Radiação: Projetado para limitar o vazamento de radiação, garantindo operação segura.

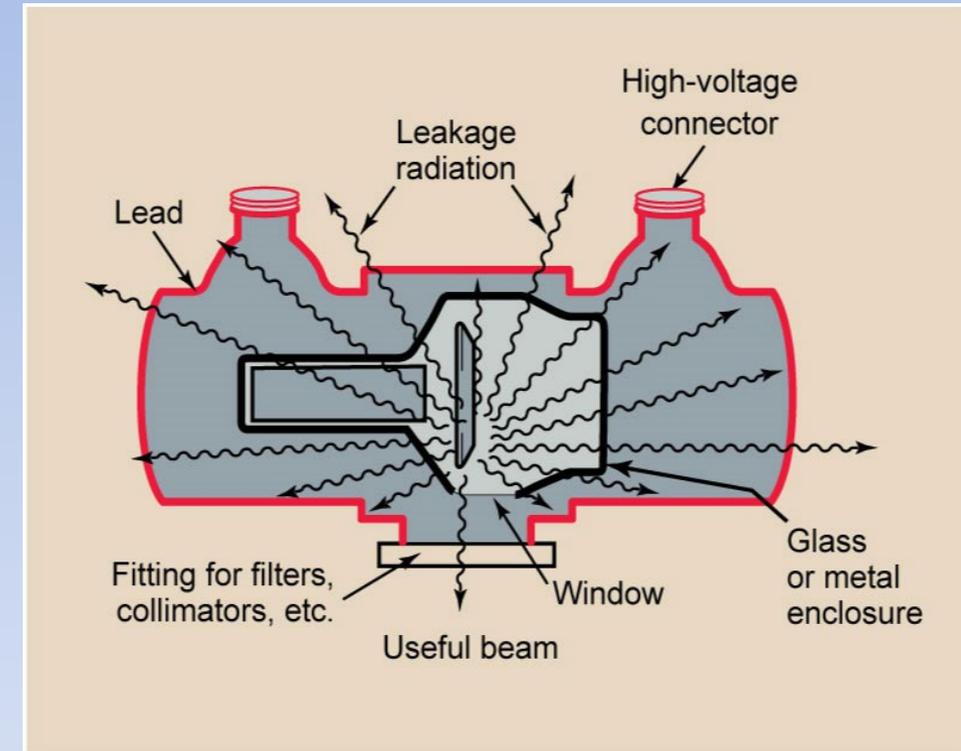


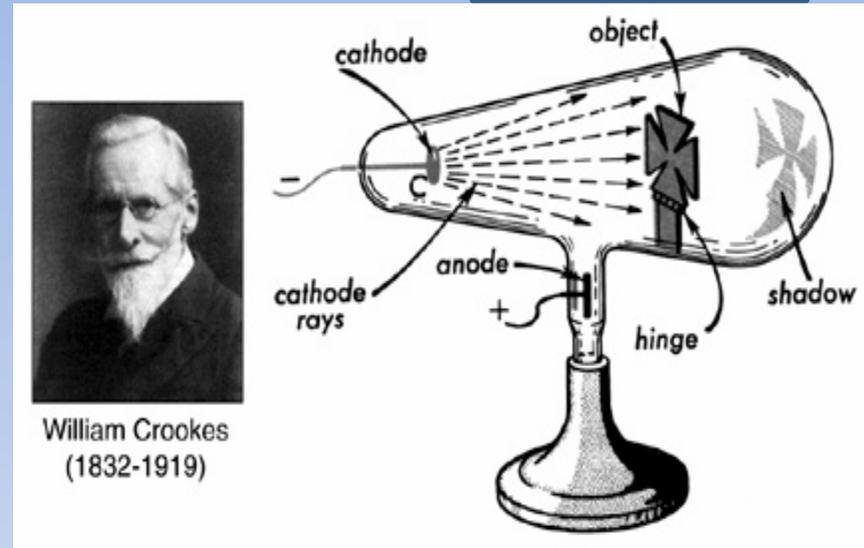
Fig. 6-3. Protective housing reduces the intensity of leakage radiation to less than 1 mGy/hr at 1 m.

Copyright © 2013 by Mosby, an imprint of Elsevier Inc.

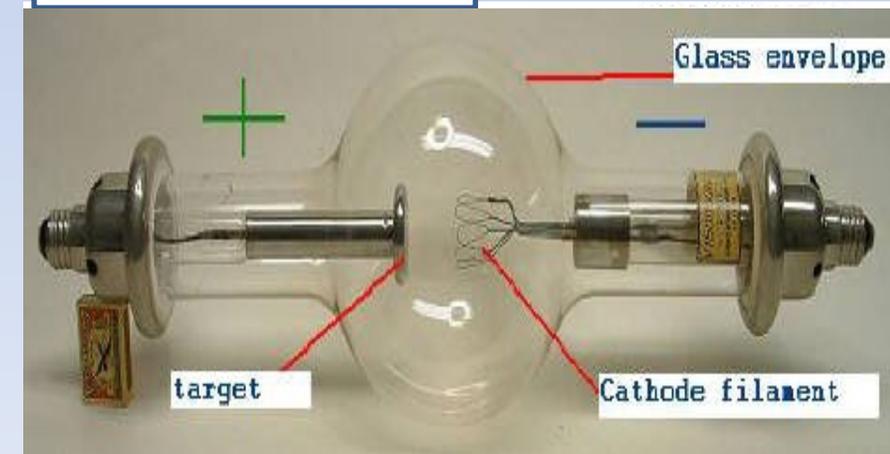
Design do Tubo de Raios-X

- Tubo de Vácuo: Contém ar ou gás para garantir a produção eficiente de raios X e prolongar a vida útil do tubo.
- Construção:
 - Feito de vidro Pyrex resistente ao calor ou uma estrutura metálica.
 - Tubo de Coolidge (design moderno): Utiliza um filamento quente num vácuo para gerar elétrons.
 - Tubo de Crookes (design mais antigo): Continha ar e usava um cátodo frio.
- Estrutura de Diodo:
 - Consiste em dois elétrodos: **Cátodo** (negativo) e **Ânodo** (positivo).

Crookes Tube



Coolidge Tube



Invólucro/Envoltório - Estrutura Externa

- **Estruturas Metálicas:**

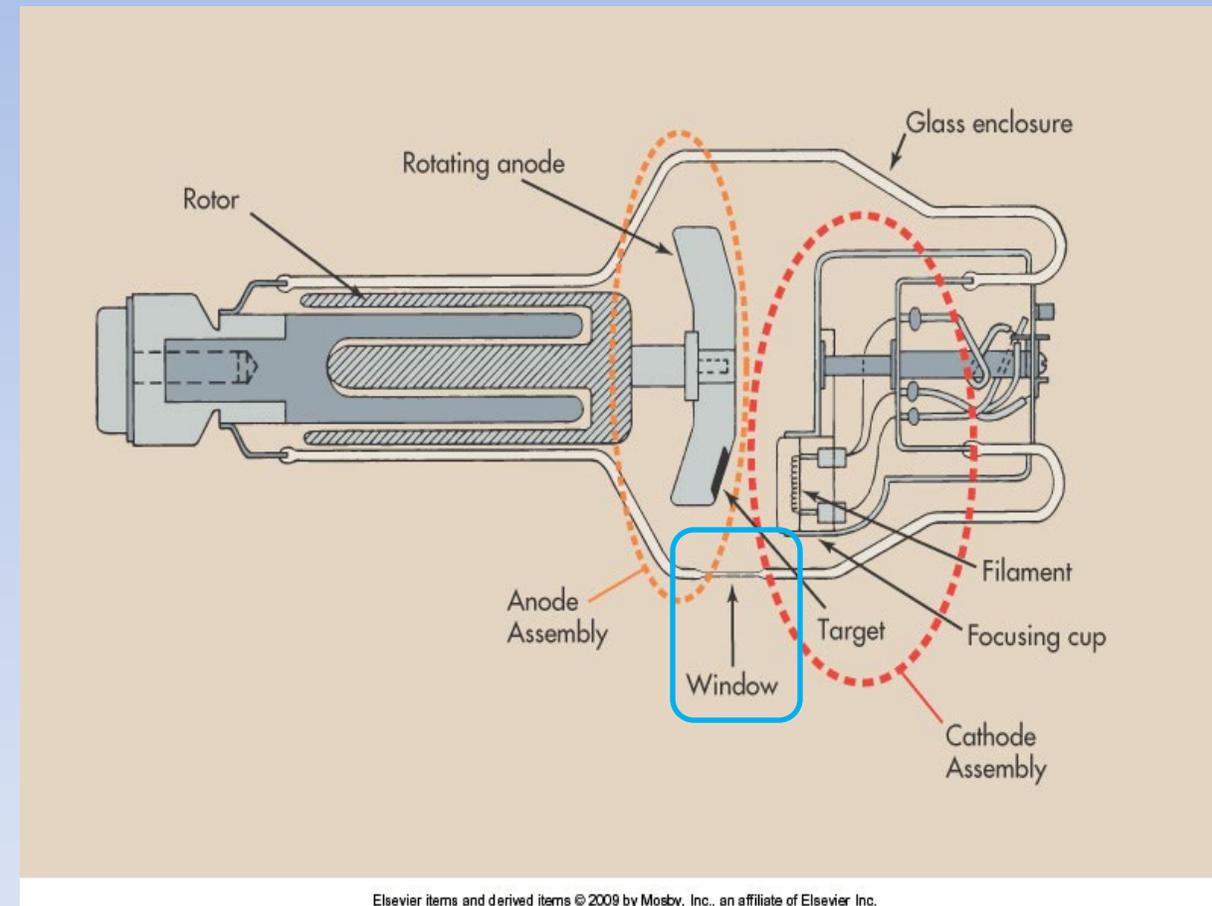
Preferidas em tubos de raios X de alta capacidade (por exemplo, tomógrafos), pois: Mantêm o potencial constante.

Aumentam a durabilidade e prolongam a vida útil do tubo.



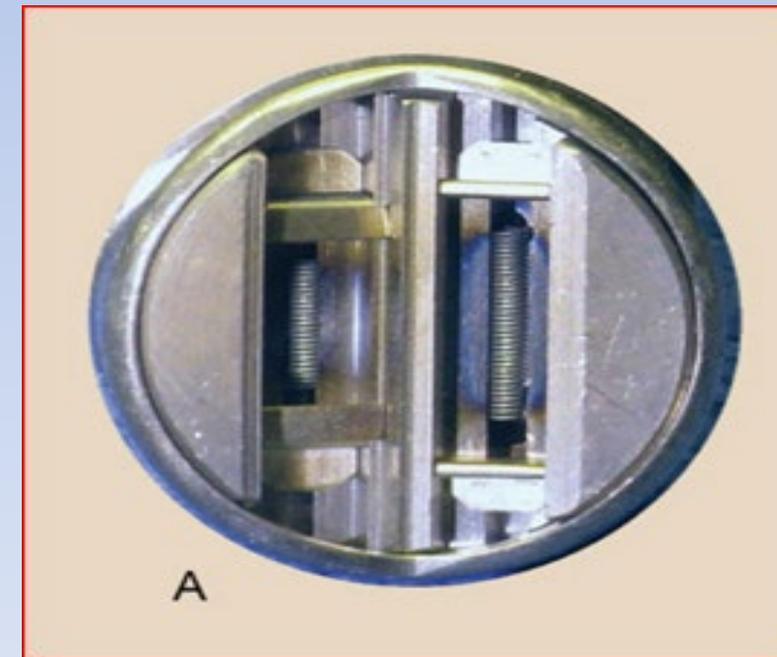
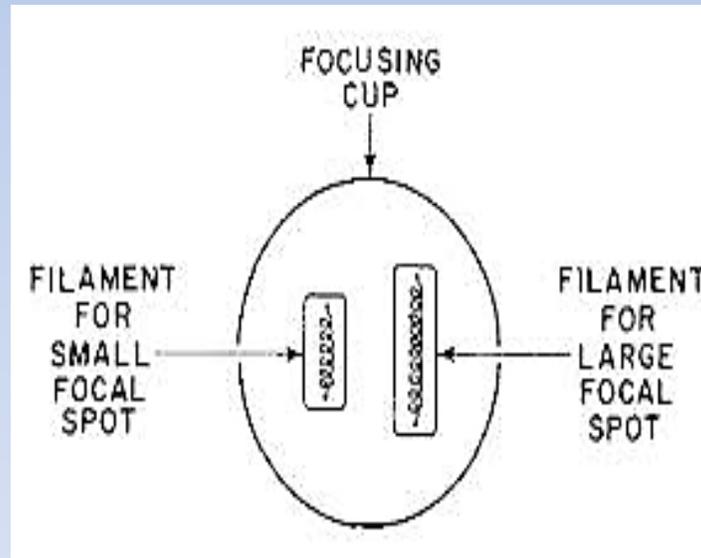
Janela do Tubo de Raios-X

- **O que é:** A janela é uma área fina no revestimento de vidro ou metal do tubo de raios-X.
- **Tamanho:** Tem cerca de 5 cm² de tamanho.
- **Propósito:** A janela permite que o feixe principal de raios-X saia do tubo com interferência mínima, melhorando a eficiência do feixe de raios-X.
- **Benefício:** Ao permitir que os raios-X passem facilmente, a janela reduz a absorção desnecessária, garantindo que mais raios-X úteis atinjam o paciente.



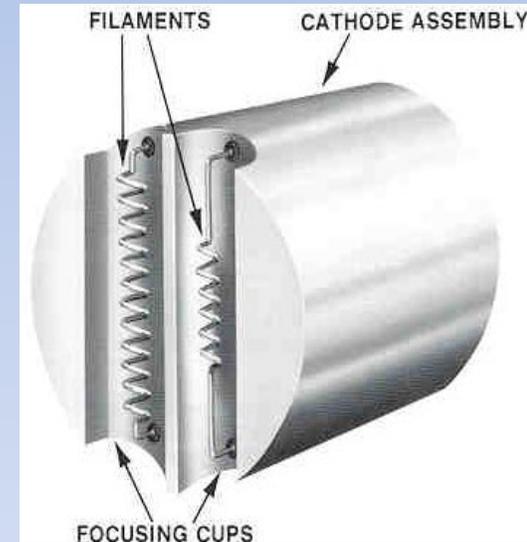
Cátodo: Tubo de Raios-X

- é o lado negativo do tubo de raios-X
- tem 2 componentes principais:
 - Filamento
 - copo de focalização



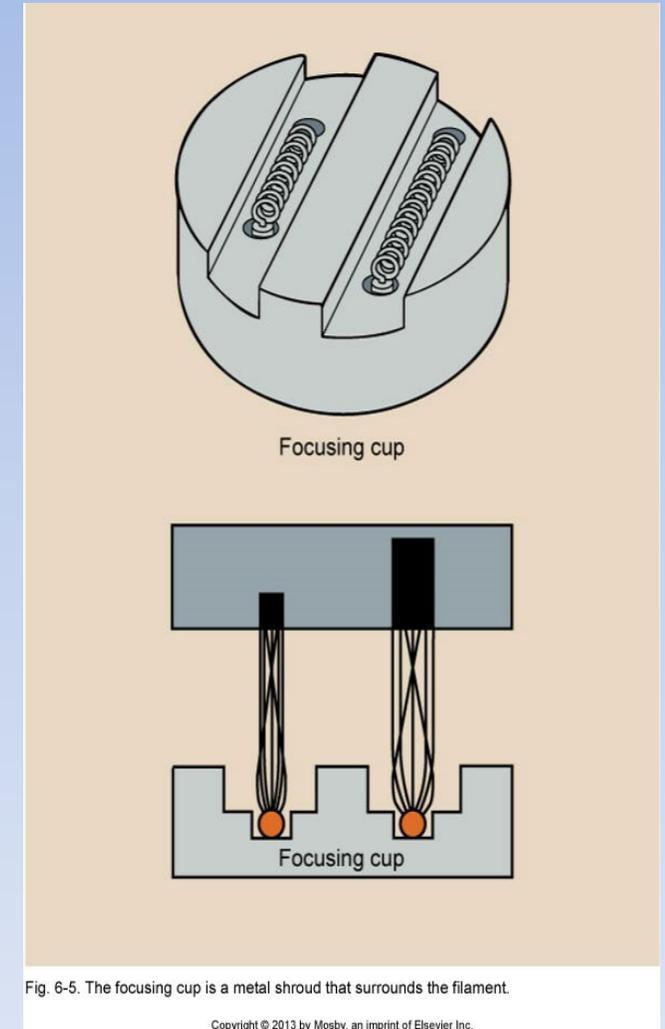
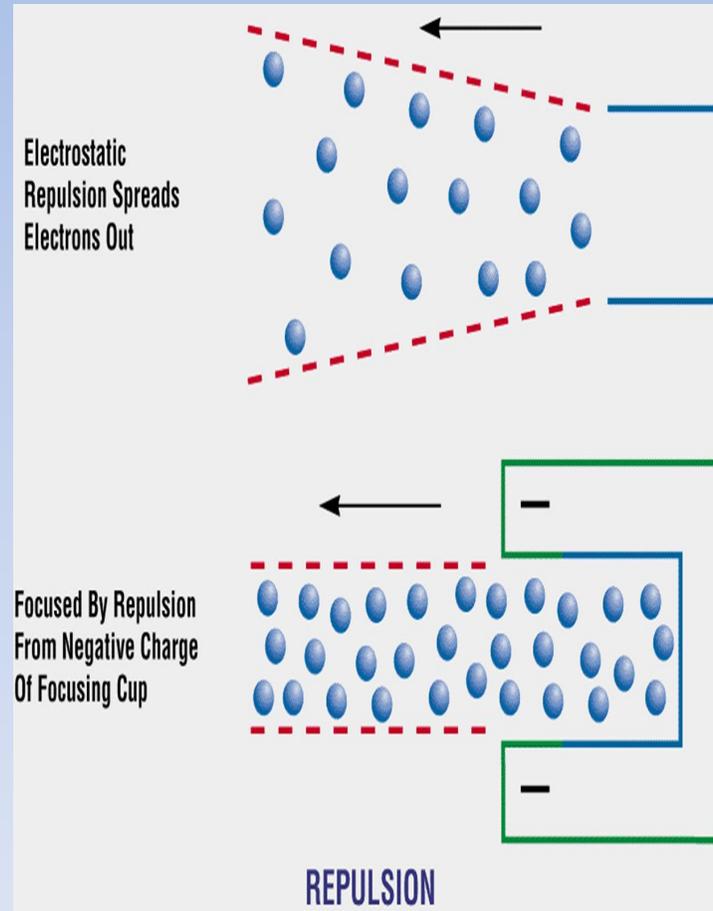
Filamento do Tubo de Raios-X

- **O que é:** O filamento é uma pequena bobina dentro do tubo de raios-X que produz elétrons quando aquecido.
- **Material:** Feito de um metal resistente chamado tungstênio, que suporta altas temperaturas. Às vezes, um pouco de outro elemento, o tório, é adicionado para prolongar sua vida útil.
- **Dois Filamentos para Flexibilidade:**
 - **Filamento Grande:** Usado quando é necessário cobrir uma área maior.
 - **Filamento Pequeno:** Usado para imagens mais nítidas e detalhadas.
- **Como Funciona:** Quando a eletricidade passa pelo filamento, ele aquece e libera elétrons. Esses elétrons são essenciais para criar raios-X.
 - **Controlando o Detalhe da Imagem:** Ajustes elétricos mais baixos produzem um ponto focal mais fino, melhorando o detalhe das imagens.
 - **Mais Calor, Mais Elétrons:** Temperaturas mais altas liberam mais elétrons, aumentando a quantidade de raios-X.



Função e Design do Copo de Focalização

- **Propósito:** O copo de focalização mantém os elétrons agrupados de forma compacta, impedindo-os de se dispersarem antes de atingir o ânodo.
- **Design:** Feito de níquel e carregado negativamente, o copo de focalização controla o feixe de elétrons para uma focalização precisa no ânodo.



Ânodo do Tubo de Raios-X

- **Função do Ânodo**

- Lado positivo do tubo de raios-X.
- Atua como um condutor elétrico: coleta elétrons do cátodo, enviando-os de volta ao gerador de alta tensão.
- Fornece suporte mecânico para o alvo.
- Serve como um condutor térmico para dissipar o calor gerado durante a produção de raios-X.

- **Tipos de Ânodos**

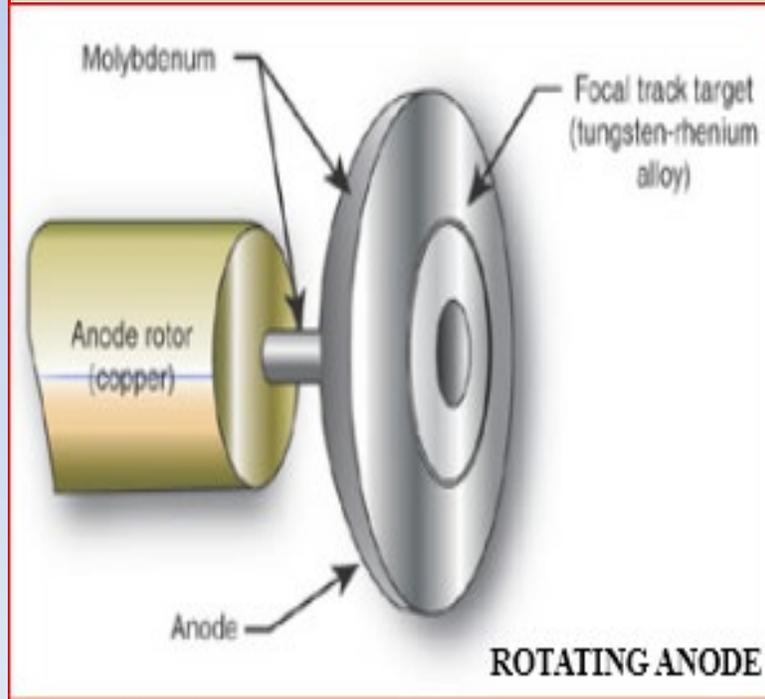
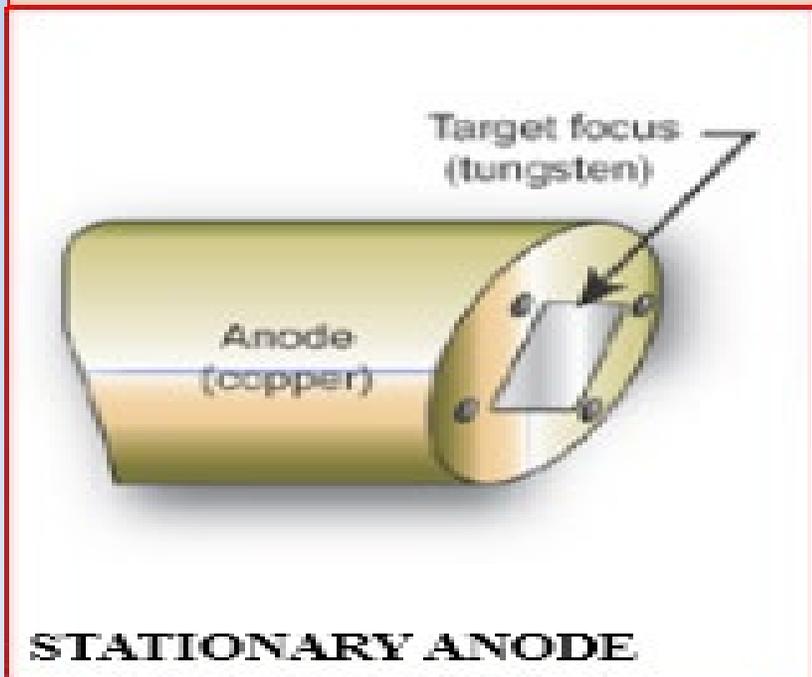
- **Ânodo Fixo**

- Fixo em posição.
- Feito de uma liga de tungstênio (90% tungstênio, 10% rênio) com suporte de cobre para dissipação de calor.
- Limitado a aplicações de baixa potência, ideal para dispositivos como máquinas de raios-X dentários.

- **Ânodo Rotativo**

- Gira para distribuir o calor, aumentando a eficiência.
- Feito de liga de tungstênio com rênio para resistência e com suporte de cobre para arrefecimento.
- Eixo de molibdênio e grafite reduz o peso, facilitando a rotação.
- A rotação de alta velocidade (3.000 a 10.000 RPM) permite altas correntes no tubo e tempos de exposição curtos ao reduzir o impacto contínuo na mesma área alvo, tornando-o adequado para sistemas de raios-X de alta capacidade.

Ânodo do Tubo de Raios-X



Área Alvo do Ânodo em Tubos de Raios-X

- **Objetivo da Área Alvo:** O feixe de elétrons do cátodo atinge a área alvo do ânodo, gerando raios-X.
- **Material: Tungstênio**
 - Alto Número Atômico: Melhora a produção de raios-X.
 - Ponto de Fusão Elevado: Resiste a altas temperaturas.
 - Dissipação de Calor: Dispersa eficientemente o calor gerado.
- **Termos-Chave:**
 - Pista Focal: O caminho circular em um ânodo rotativo que o feixe de elétrons afeta.
 - Ponto Focal Real: A área exata no alvo onde os raios-X são emitidos.
 - Ponto Focal Efetivo: A parte do ponto focal direcionada para o paciente ou receptor de imagem.

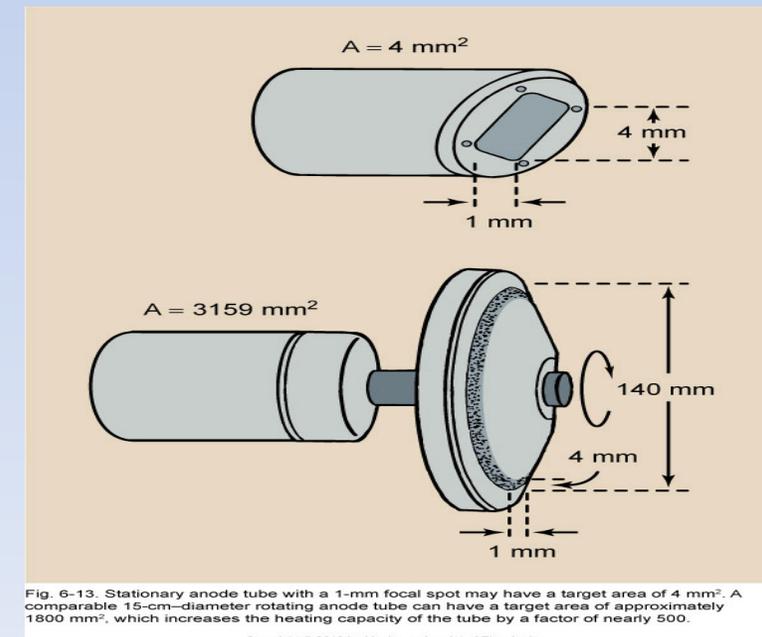
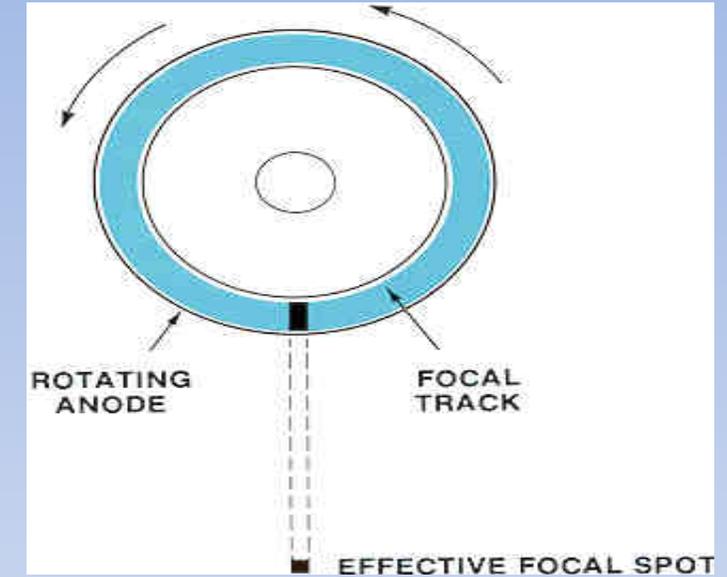
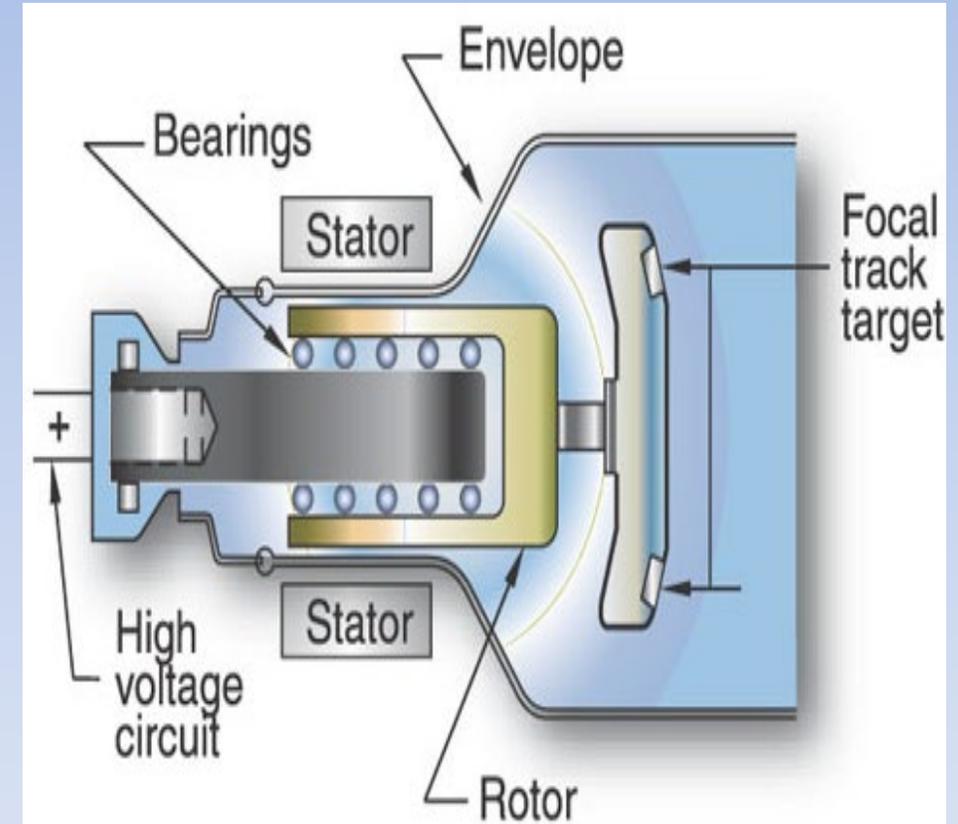


Fig. 6-13. Stationary anode tube with a 1-mm focal spot may have a target area of 4 mm². A comparable 15-cm-diameter rotating anode tube can have a target area of approximately 1800 mm², which increases the heating capacity of the tube by a factor of nearly 500.

Motor de Indução no Tubo de Raios-X

- **Sistema de Ânodo Rotativo**
- **Objetivo:** O ânodo gira para distribuir o calor de forma uniforme, tornando o tubo de raios-X mais eficiente e evitando o sobreaquecimento.
- **Partes Principais:**
 - **Rotor:** Dentro do tubo, feito de cobre e ferro macio, e ligado ao ânodo por um pescoço de molibdênio durável para melhor controlo do calor.
 - **Estator:** Posicionado fora do tubo, contendo eletroímãs ao redor do rotor.
- **Como Funciona:**
 - Tubos regulares giram a 3.000 a 4.000 RPM (rotações por minuto).
 - Tubos de alta eficiência, como os usados em tomografia computadorizada (TC), giram a 10.000 a 12.000 RPM.
 - O estator cria um campo magnético rotativo que faz o rotor girar e, por sua vez, o ânodo. Ajustar a corrente no estator altera a velocidade de rotação.



Operações do Tubo de Raios-X (Interruptor de Segurança)

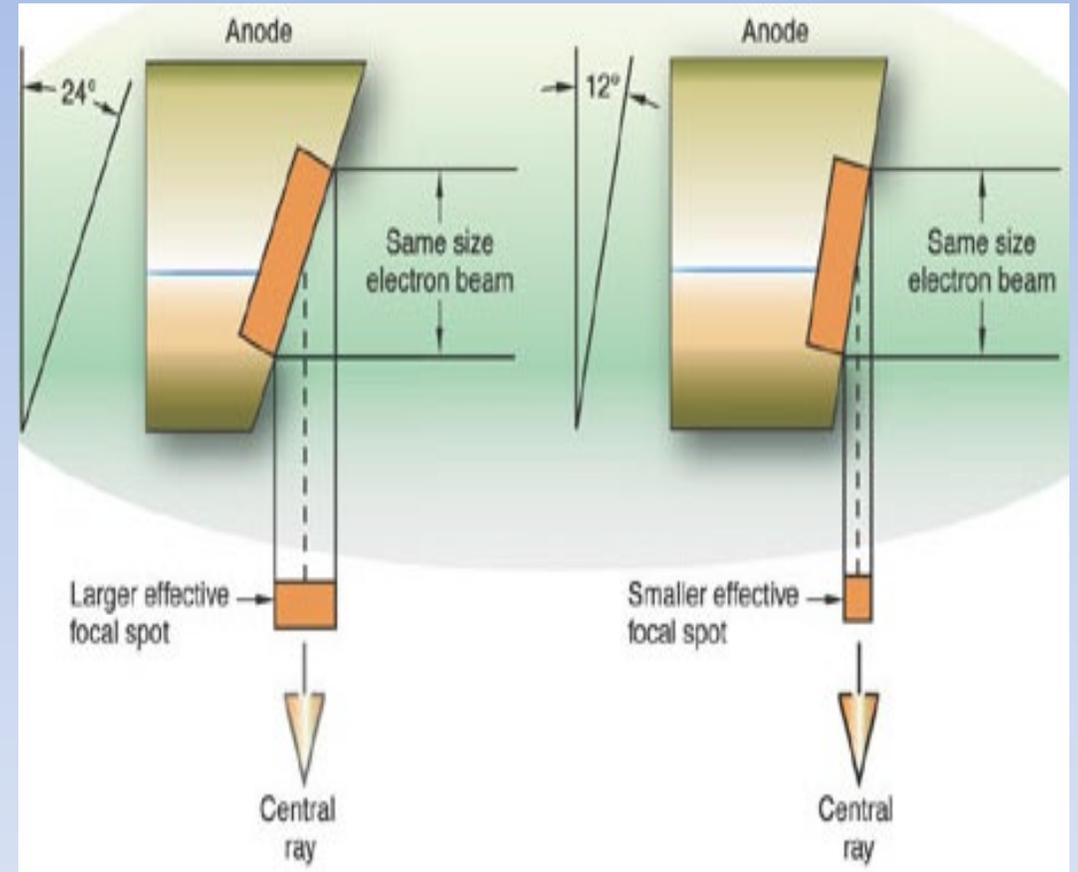
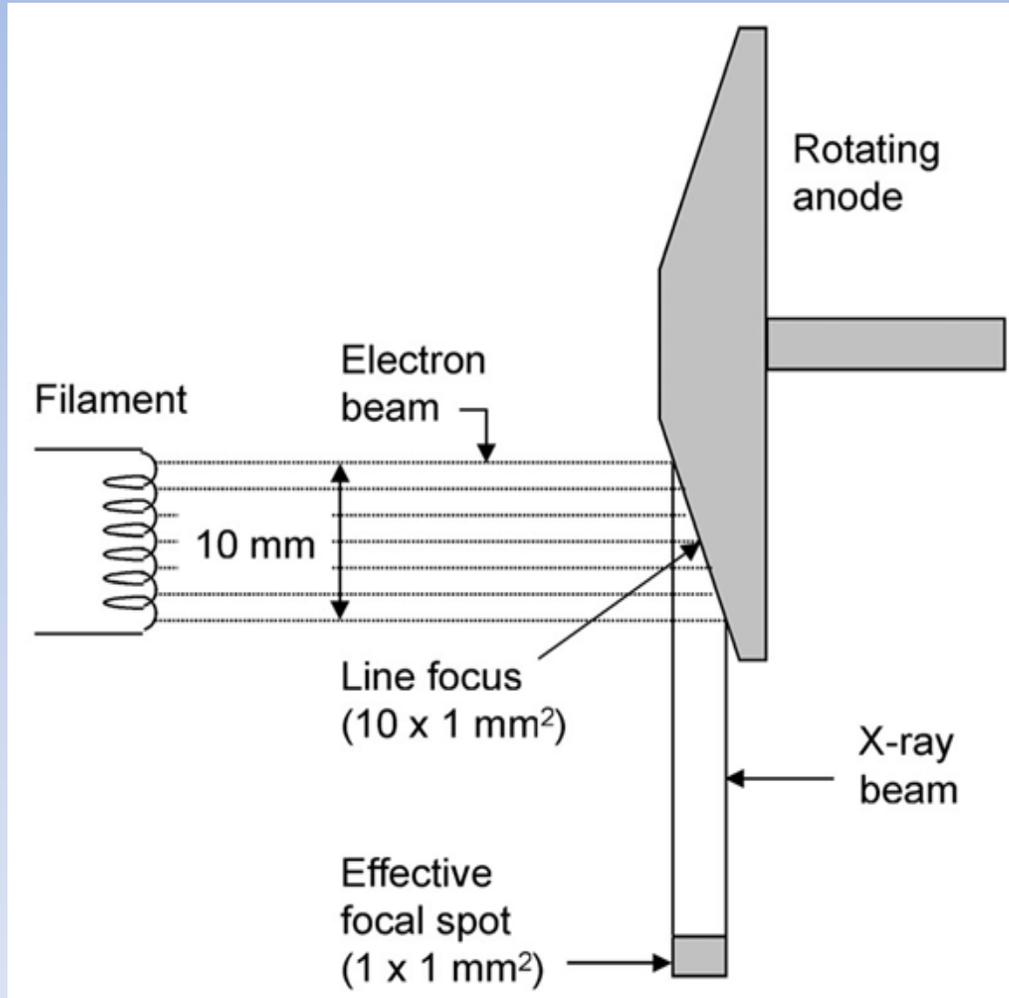
- **Processo de Exposição a Raios-X**
- **Antes da Exposição (Fase de Pré-Estágio ou Pronto):**
 - Botão ativado, iniciando uma breve pausa.
 - Rotor inicia ou acelera.
 - Filamento aquece.
 - Bucky é ativado (se em uso).
- **Fase de Exposição:**
 - A exposição é realizada.
- **Após a Exposição:**
 - Rotor começa a desacelerar (audível).
 - Rotor para completamente de girar.
- **Tempo de Inércia:** Tempo necessário para o rotor parar (tempo normal de inércia = 60 segundos).
 - O tempo de inércia diminui com o desgaste dos rolamentos do rotor.
- **Rotores de Alta Velocidade:** Possuem um mecanismo de frenagem para desacelerar até a velocidade normal de rotação.



Princípio do Foco em Linha

- **O Que Faz:** Este princípio ajuda a produzir imagens de raios-X mais nítidas, protegendo o tubo de raios-X do sobreaquecimento.
- **Como Funciona:**
 - **Ponto Focal:** Esta é a pequena área no ânodo onde são criados os raios-X.
 - **Ponto Focal Pequeno:** Torna as imagens mais nítidas, mas se for demasiado pequeno, pode causar sobreaquecimento do ânodo num único ponto.
- **Maneiras de Gerir o Calor e Melhorar a Qualidade da Imagem:**
 - **Ânodo Rotativo:** O ânodo gira, distribuindo o calor por uma área maior para que não sobreaqueça num único ponto.
 - **Ânodo Angulado:** O ânodo é ajustado num ângulo ligeiro (cerca de 5° – 15°), o que faz com que o feixe de raios-X pareça menor para uma imagem mais nítida.
- **Benefícios Desta Configuração:**
 - **Imagens Mais Nítidas:** O pequeno ponto focal “efetivo” torna as imagens mais nítidas e detalhadas.
 - **Melhor Controlo de Calor:** O ponto focal “real” maior distribui o calor, evitando o sobreaquecimento do ânodo.

Princípio do Foco em Linha



Efeito de Extremidade do Ânodo: Vantagens e Desvantagens

- **O Que É:** O Efeito de Extremidade do Ânodo significa que o feixe de raios-X é mais forte de um lado do tubo de raios-X (o lado do cátodo) do que do outro (o lado do ânodo).
- **Desvantagem:**
 - **Força Desigual do Feixe:** O feixe de raios-X é mais intenso no lado do cátodo e mais fraco no lado do ânodo.
 - **Razão:** Os raios-X no lado do ânodo têm de passar por uma parte mais espessa do ânodo, então alguns dos raios-X são absorvidos, tornando este lado mais fraco.
- **Vantagem:**
 - **Melhor Imagem para Diferentes Espessuras:** O feixe mais forte do lado do cátodo é útil para a imagem de partes do corpo com espessuras variadas.
 - **Exemplo:** Ao fazer uma imagem do tórax, colocar o lado do cátodo voltado para áreas mais espessas (como a coluna inferior ou o diafragma) melhora a qualidade da imagem, pois o feixe de raios-X mais forte pode penetrar melhor nessas áreas densas.

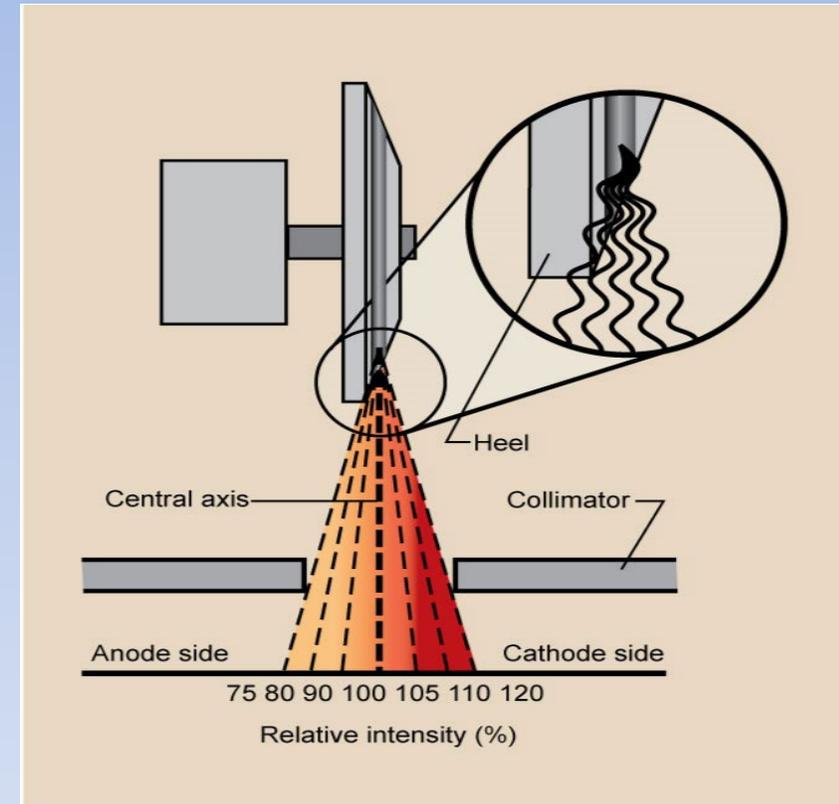
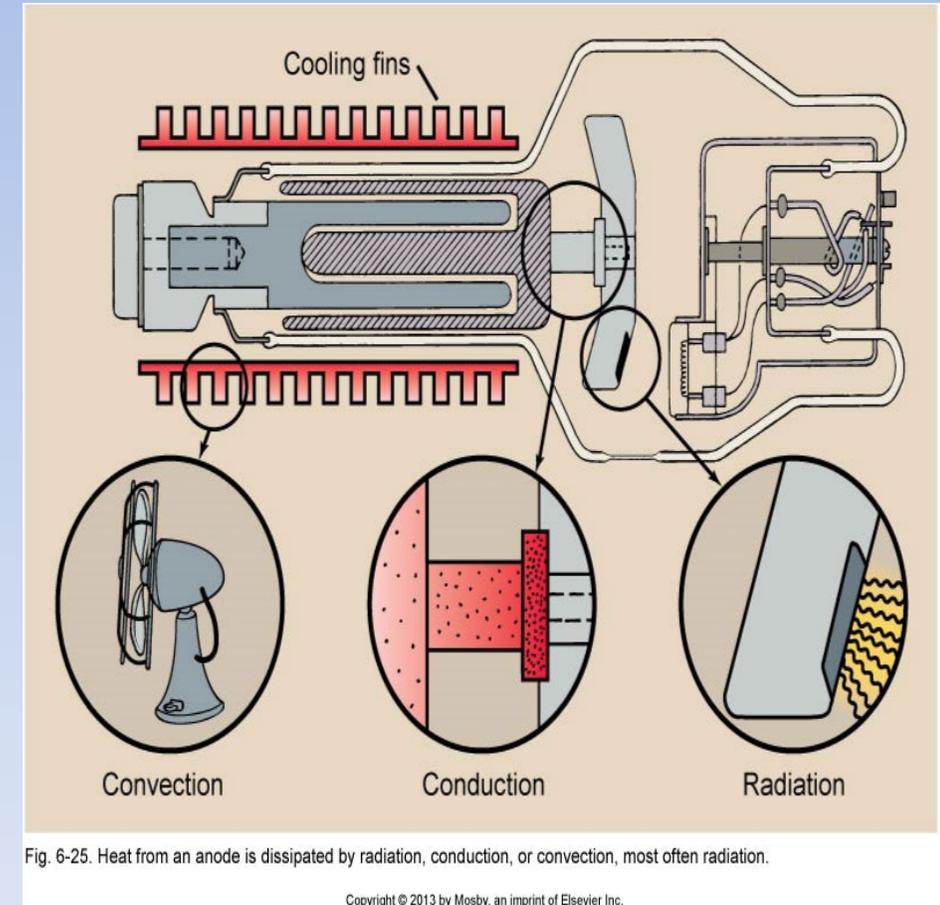


Fig. 6-20. The heel effect results in reduced x-ray intensity on the anode side of the useful beam caused by absorption in the "heel" of the target.

Copyright © 2013 by Mosby, an imprint of Elsevier Inc.

Eficiência e Gestão de Calor do Tubo de Raios-X

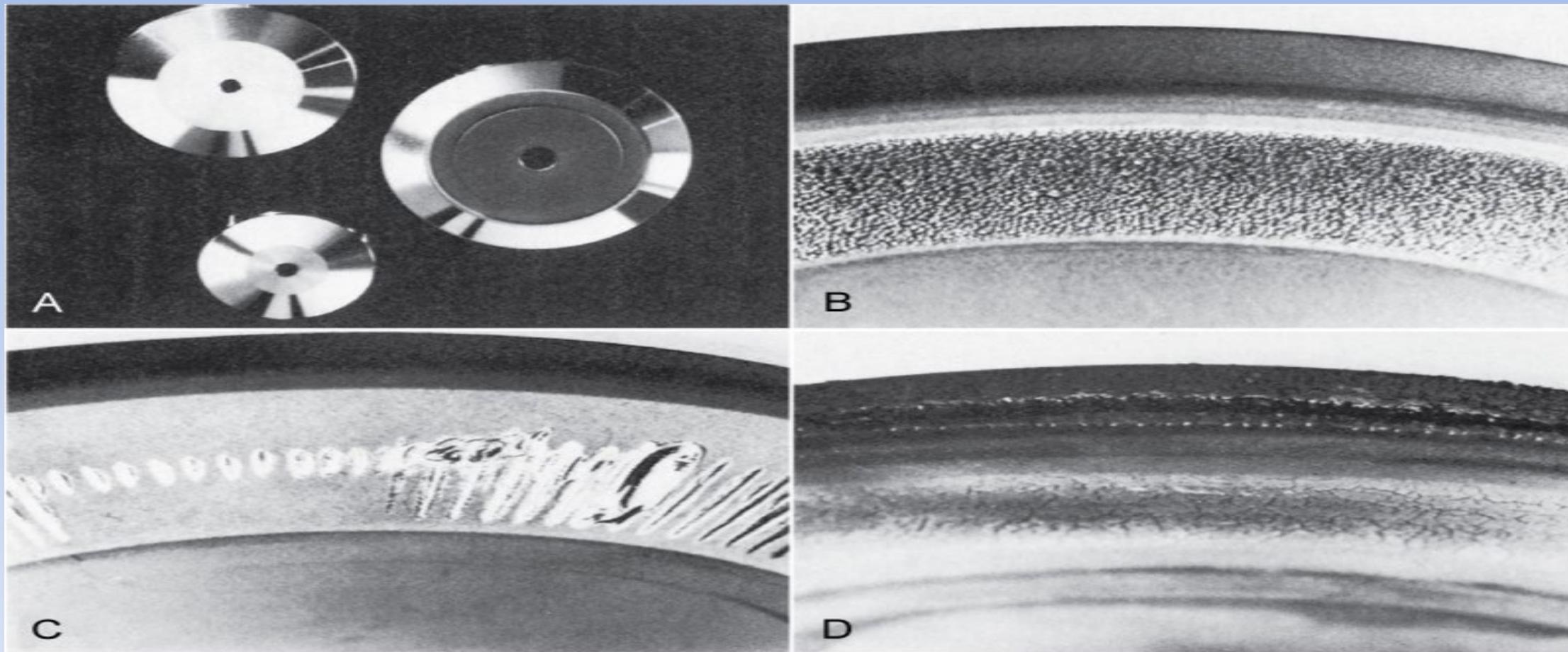
- **Eficiência Energética:** Apenas cerca de 1% da energia em um tubo de raios-X é convertida em raios-X; os outros 99% se transformam em calor. Isso significa que o tubo fica muito quente, especialmente com o uso frequente em configurações altas.
- **Métodos de Dissipação de Calor:** Para evitar o superaquecimento, o tubo possui maneiras de gerenciar o calor:
 - **Radiação:** O ânodo libera parte do calor como radiação infravermelha.
 - **Condução:** O calor é transferido do ânodo para componentes próximos.
 - **Convecção:** O óleo ao redor do tubo absorve o calor e o leva para o exterior da carcaça do tubo.



Prevenindo Danos ao Tubo de Raios-X

- **Vaporização de Tungstênio:** O filamento pode vaporizar lentamente com o uso intenso, revestindo o vidro do tubo e causando problemas elétricos.
- **Rompimento do Filamento:** Com o tempo, configurações de alta corrente podem desgastar e romper o filamento.
- **Dano ao Ânodo:** Exposições de alta energia podem derreter ou rachar o ânodo, reduzindo sua eficácia.
- **Dicas de Prevenção:**
- **Procedimento de Aquecimento:** Use configurações baixas (por exemplo, 200 mA a 70 kVp) por alguns segundos para aquecer o ânodo antes do uso regular.
- **Evite Configurações Altas Consecutivas:** Não faça múltiplas exposições de alta energia consecutivas, especialmente quando o ânodo está frio.
- **Limite Exposições Longas:** Exposições longas geram calor excessivo, que pode danificar o rotor e outras partes.

Razões para a Redução da Vida Útil do Tubo de Raios X



Courtesy Philips Medical Systems.

Fig. 6-14. Comparison of smooth, shiny appearances of rotating anodes when new **(A)** versus their appearance after failure **(B-D)**. Examples of anode separation and surface melting shown were caused by slow rotation caused by bearing damage **(B)**, repeated overload **(C)**, and exceeding of maximum heat storage capacity **(D)**.

Práticas de Projeto e Operacionais para Prolongar a Vida Útil do Tubo de Raios X

- **Características de Design:**

- **Ânodo Rotativo:** Utilize rotação de alta velocidade para melhorar a dissipação de calor.
- **Disco de Ânodo Grande:** Fornece uma pista de alvo mais longa, distribuindo o calor de forma mais eficaz.
- **Ângulo de Alvo Pequeno:** Permite um ponto focal real maior, melhorando a durabilidade.

- **Melhores Práticas Operacionais:**

- **Aquecimento:** Siga os procedimentos de aquecimento do fabricante para um desempenho ideal.
- **Minimize a Rotação do Ânodo:** Evite rotações desnecessárias para prolongar a vida útil do filamento.
- **Use Técnicas Mínimas:** Mantenha kVp, mAs e tempo de exposição baixos, especialmente para múltiplas exposições.
- **Receptores de Imagem Rápidos (IR):** Melhoram a eficiência e reduzem o tempo de exposição.
- **Manutenção:** Verifique regularmente os circuladores de ar e óleo para garantir um resfriamento adequado.
- **Evite Sobrecarga:** Mantenha-se dentro dos limites térmicos de armazenamento do ânodo e do invólucro para evitar danos.