

UNIFESP



UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SÃO PAULO

Aspectos Físicos no

Diagnóstico por Mamografia

Prof. Dr. Silvio Ricardo Pires

Especialista em Física Médica do Radiodiagnóstico

RX-326/1540

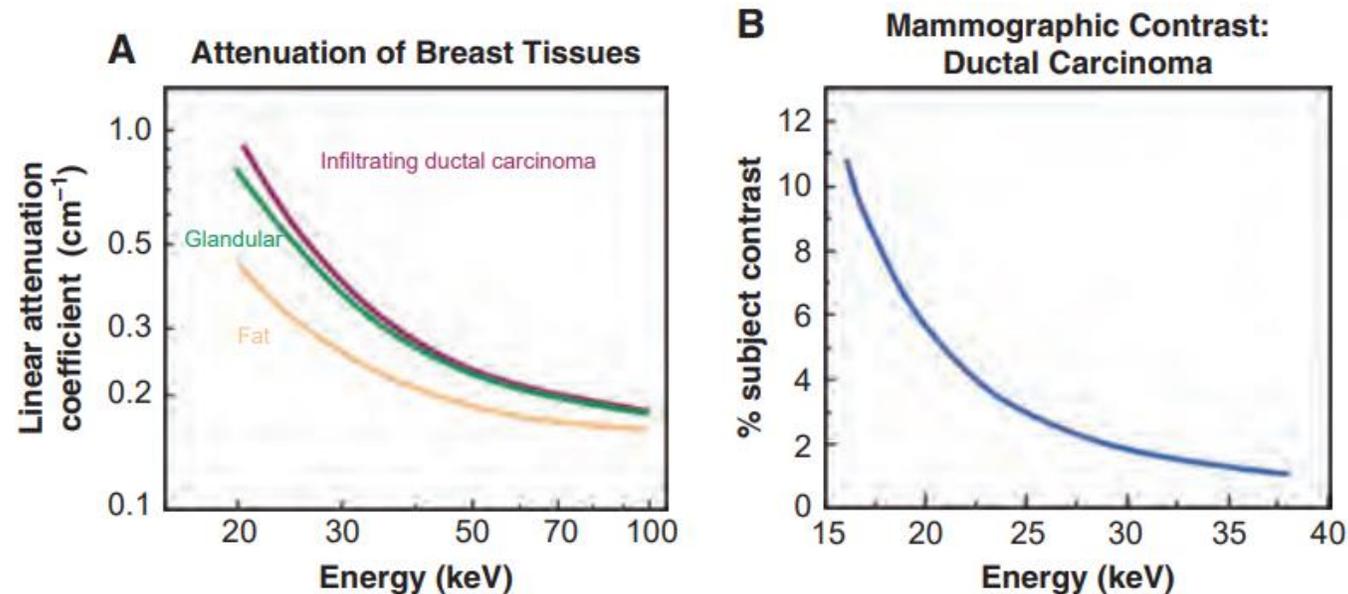
Mamografia: Introdução

- É um exame radiográfico destinado a detectar patologias mamárias (câncer)
- O rastreamento do câncer com mamografia auxilia na detecção da doença estágio mais precoce e tratável
- É um procedimento clínico importante, pois aproximadamente **uma** em cada **oito** mulheres desenvolverá câncer de mama ao longo da vida (12,5% das mulheres)
- Atualmente o **rastreamento** busca a identificar o câncer de mama na população assintomática e os procedimentos diagnósticos são realizados para avaliar lesões palpáveis ou achados suspeitos identificados pela mamografia de rastreamento com aquisição de **2 imagens** nas projeções **médio-lateral oblíqua** e **2 craniocaudal**
- **Diagnóstico** inclui projeções adicionais, podendo existir magnificação, compressão pontual, com exames complementares US, RM, entre outros

Mamografia:

Tecido mamário e canceroso

A diferença de densidade de estruturas normais e da patogênicas encontradas no tecido mamário possuem sutis diferenças que pouco modificam a resposta de atenuação entre os diferentes tecidos (sadio e doente)



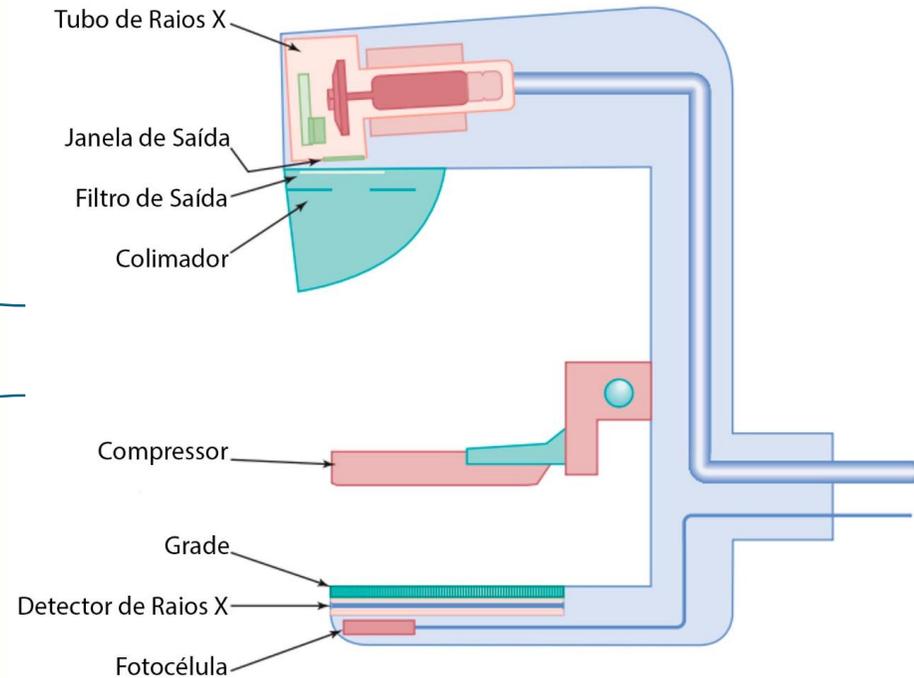
Baixas energias proporcionam melhor atenuação diferencial, porém resulta em maiores doses de radiação e tempos de exposição mais longos.

Mamografia: Equipamento Dedicado ao Diagnóstico

É um aparelho especial de raios-X, que é configurado para obter imagens das mamas com alto contraste e alta resolução espacial

Superior:
Produz os Raios X

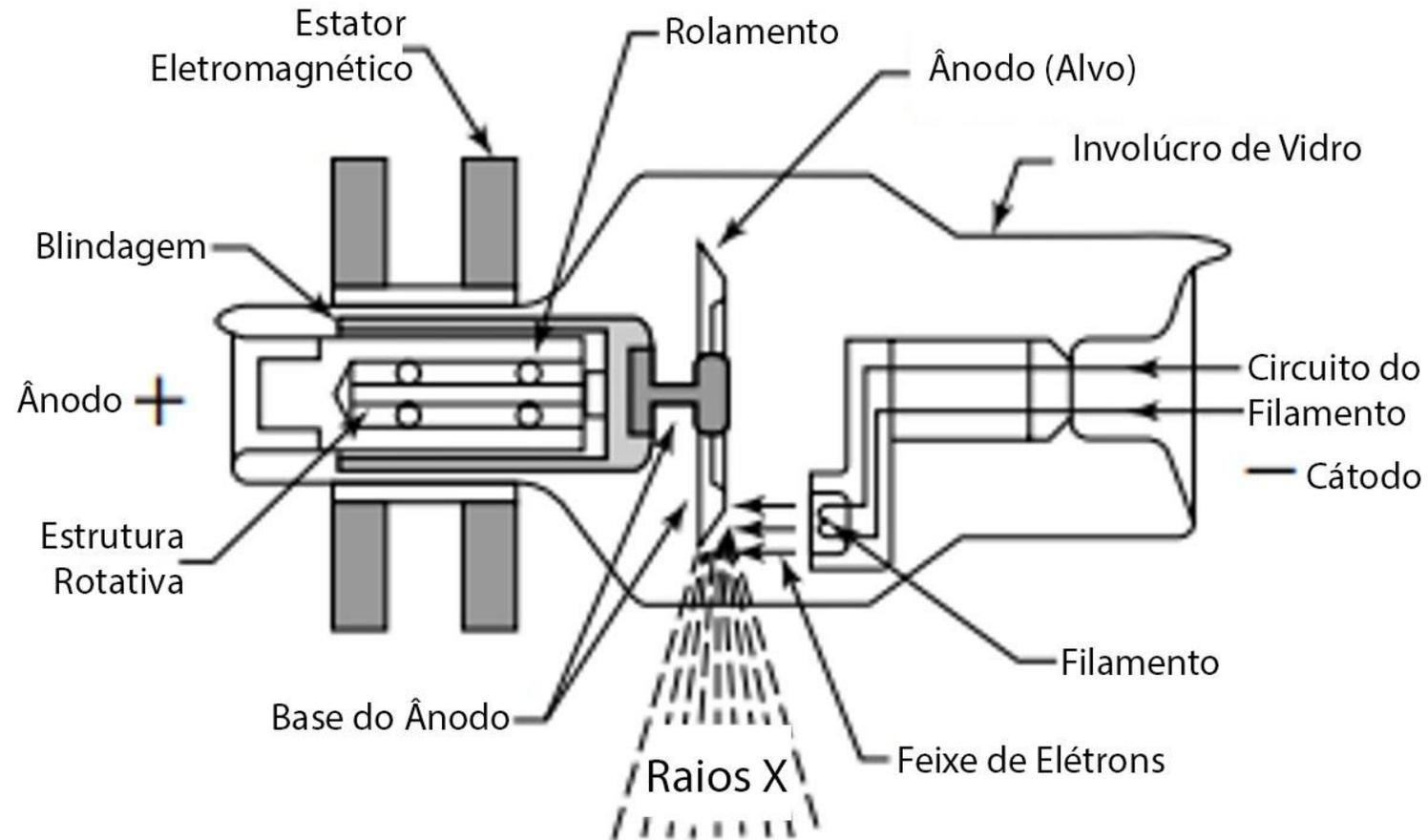
Inferior:
Produz a imagem



Mamografia:

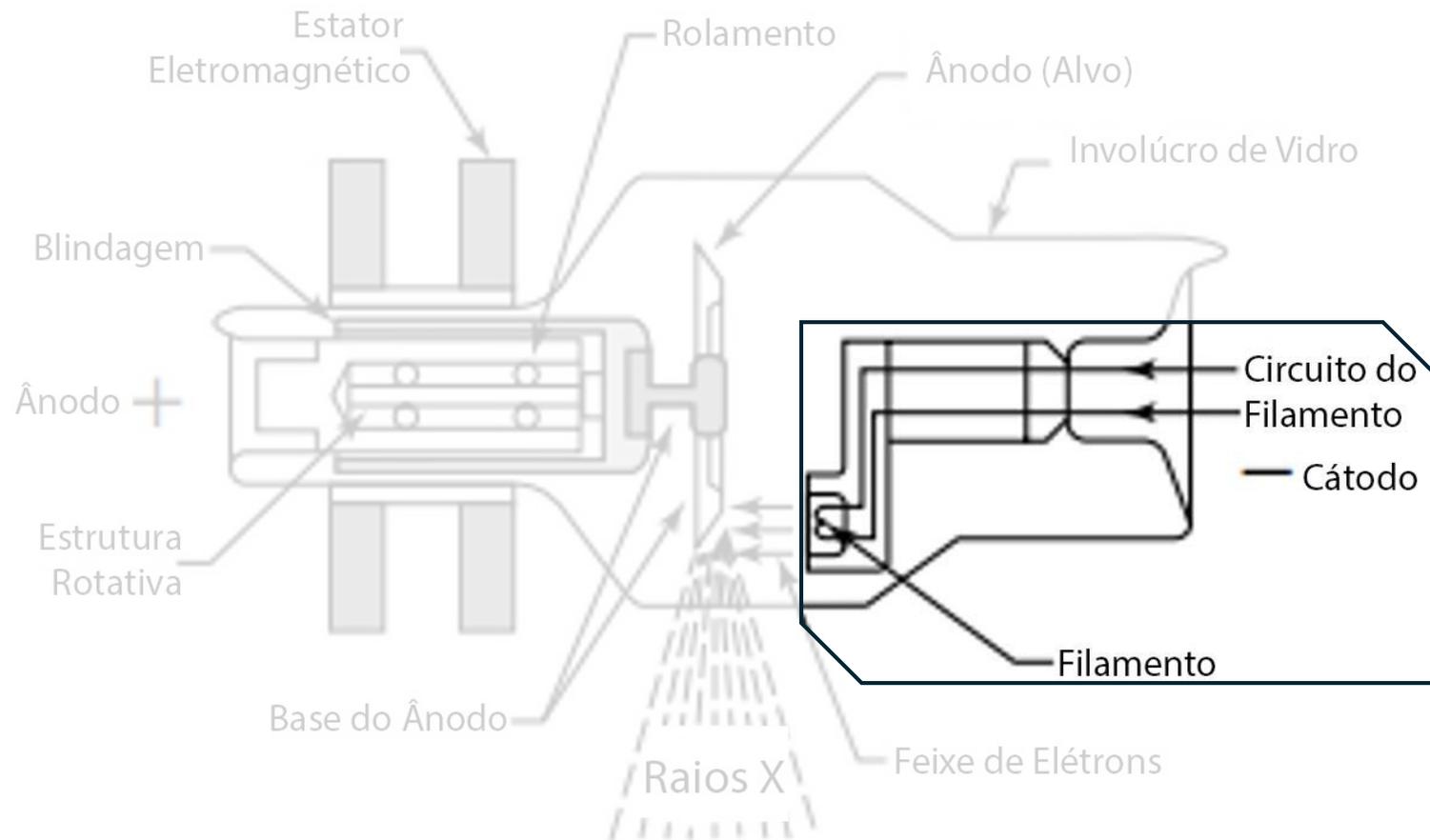
Tubo de raios X para mamografia

Principais componentes de um tubo



Mamografia:

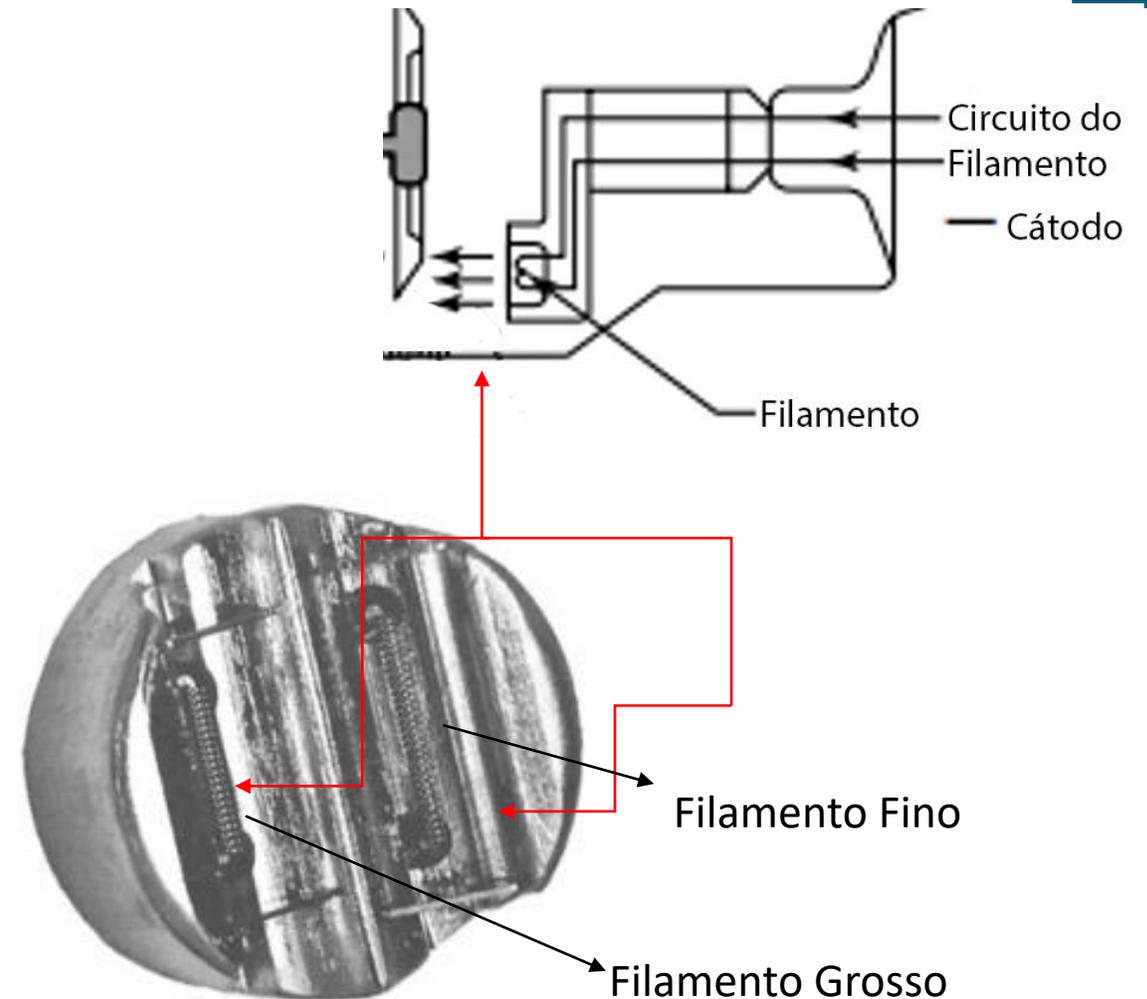
Cátodo do tubo de raios X para mamografia



Mamografia: Cátodo, Circuito do filamento e a Fonte de Elétrons

Estrutura do Cátodo

- O conjunto é feito do metal Tungstênio, que tem alto ponto de fusão (3.370 °C)
- Uma corrente de alguns ampères aquece o filamento e elétrons são liberados a uma taxa que aumenta a corrente no filamento
- Filamento é montado em um copo de focagem com carga negativa e tem 2 tamanhos
- Filamento menor (fino), fornece um ponto focal menor e uma radiografia com maior detalhe
- Filamento maior (grosso) é usado para exposições de alta intensidade e curta duração
- Em geral utiliza-se uma faixa de tensão entre 20 e 35 kV

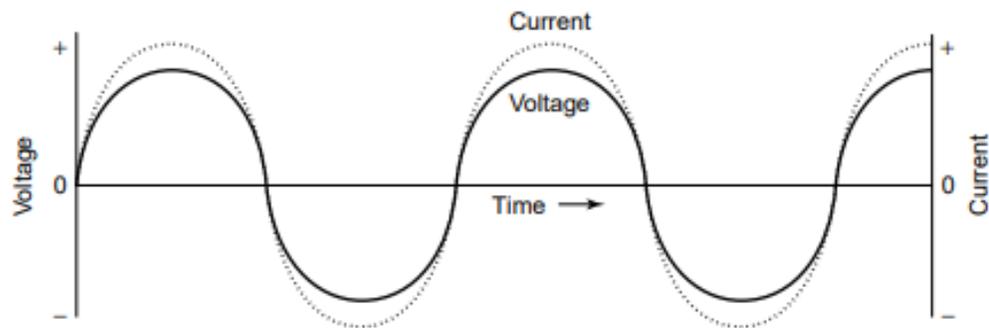


Mamografia: Primeiros problemas na produção de raios X

A d.d.p. e o fluxo de elétrons na produção dos raios X

- **No circuito do filamento e alvo do tubo**

- ✓ Intensidade e a distribuição dos raios X tem influência da d.d.p. entre o filamento e o alvo no tubo.
- ✓ Fonte elétrica geralmente é C.A. com pouca perda de energia em linhas que abrange longas distâncias.
- ✓ Campo Elétrico irá acelerar os elétrons em direção ao Alvo, **PORÉM!**

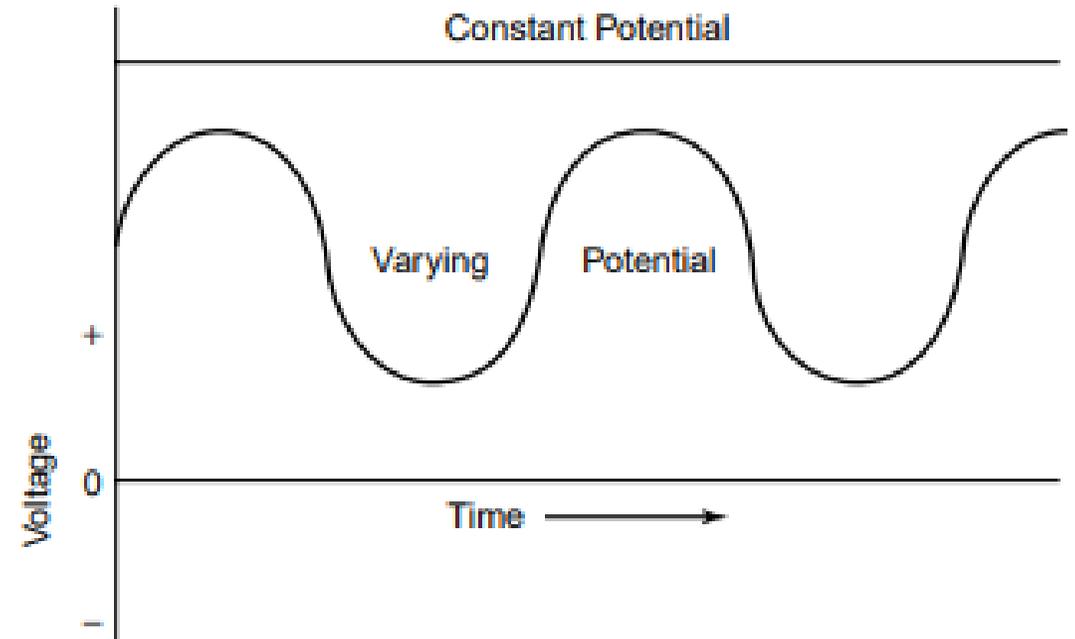


- ✓ A aceleração contínua dos elétrons em direção ao ânodo, só é possível nos instantes que a forma da onda é positiva em relação ao cátodo.
- ✓ Formas onda alternadas mudam entre polaridade da tensão a cada meio ciclo e influencia na Intensidade e a Distribuição dos raios X
- ✓ Quando a polaridade é invertida (*filamento é positivo e o alvo é negativo*), a corrente não pode fluir no tubo de raios X, porque não há fonte de elétrons.
- ✓ **Altas correntes de tubo, aquece em excesso o alvo, que pode liberar elétrons da superfície do ânodo (negativo) e induzir os elétrons a fluírem em sentido reverso no tubo em direção ao cátodo (com filamento positivo). Este fluxo reverso de elétrons pode destruir o tubo de raios X.**

Mamografia:

Forma da onda de tensão aplicada

- ✓ **Primeira Estratégia:** Elevar todo o potencial em relação ao Cátodo (*melhora eficiência*)
- ✓ **Segunda Estratégia:** Minimizar a variação no potencial, reduzirá a variação na aceleração dos elétrons em direção ao ânodo (*melhora eficiência*)



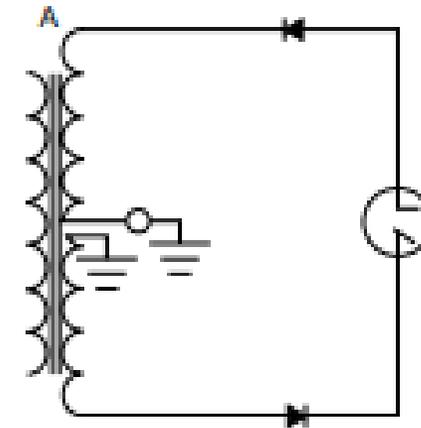
Mamografia:

Atenção com C.Q.

Tensão aplicada em equipamentos antigos

Segunda Estratégia:

- Uso de circuitos eletrônicos que impedem a passagem de elétrons em sentido reverso, retificação de meia onda, com uso de componentes, como Diodo. *(melhora eficiência)*
- Aprimoramento para circuitos mais complexos que fazem a retificação completa da onda *(melhora eficiência)*



Generator type	Typical voltage waveform	kV ripple
Single-phase 1-pulse (self rectified)		100%
Single-phase 2-pulse (full wave rectified)		100%

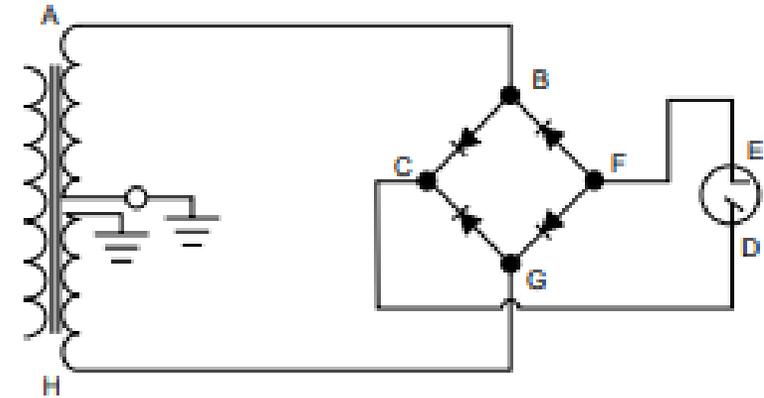
Mamografia: **Melhora significativa na qualidade da imagem**

Tensão aplicada em equipamentos de gerações anteriores

Terceira Estratégia:

Uso de rede elétrica trifásica

- Situação que as três linhas transportam a mesma tensão de onda, porém o pico é defasado em momentos diferentes
 - Cada fase é retificada separadamente, de modo que as três formas de onda retificadas por completo se apresentem todas **de forma distinta e sobrepostas**
 - Com 3 fases separadas, forma-se **seis pulsos retificados durante cada ciclo**
- ✓ Evolução da **Terceira Estratégia** é o refinamento no circuito, que fornece **ligeira mudança na fase da forma da onda**, resultando em **12 pulsos por ciclo**

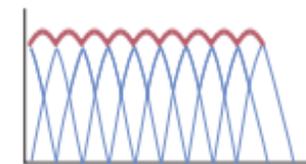


Generator
type

Typical voltage
waveform

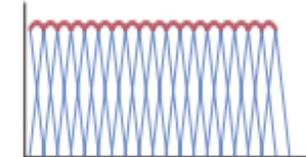
kV
ripple

3-phase
6-pulse



13% - 25%

3-phase
12-pulse

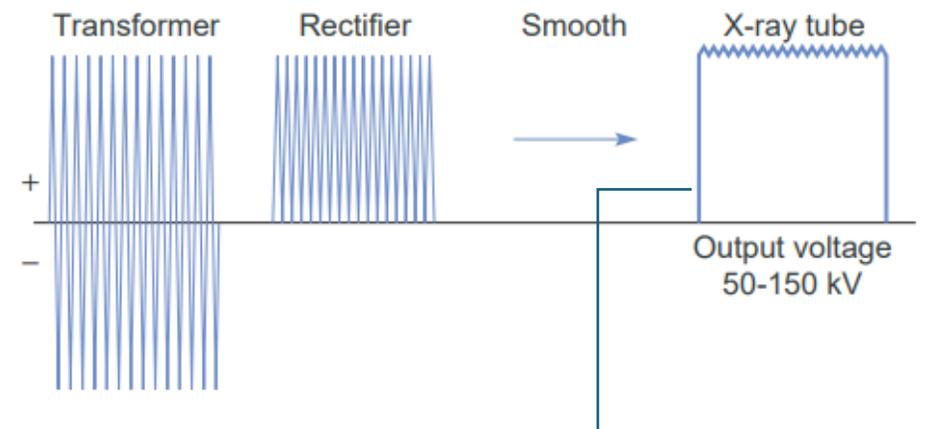
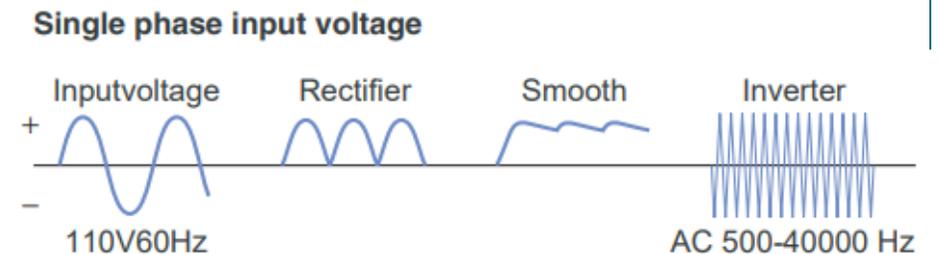


3% - 10%

Mamografia:

Tensão aplicada em equipamentos modernos

- ✓ **Quarta Estratégia:** Uso de dispositivos modernos de comutação de tensão de estado sólido capazes de produzir ondas de alta frequência ($\approx 50 \text{ kHz}$), independente se a rede for monofásica ou trifásica.



Generator type	Typical voltage waveform	kV ripple
Medium-high frequency inverter		4% - 15%
Constant Potential		<2%

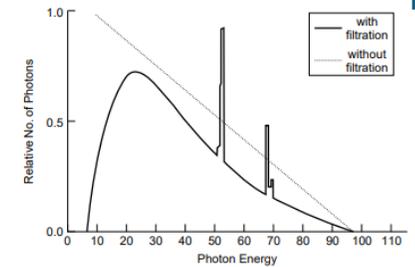
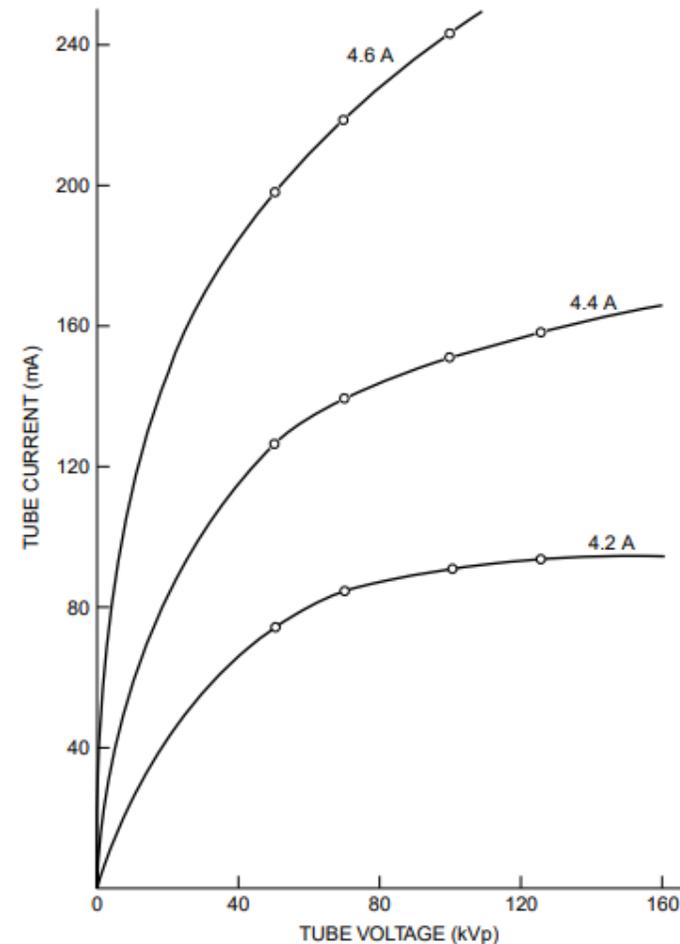
*Durante a exposição aos raios X, os circuitos de realimentação monitoram a tensão do tubo e a corrente do tubo e fornecem continuamente carga aos capacitores conforme necessário para **manter uma tensão quase constante***

Tubos de Raios X:

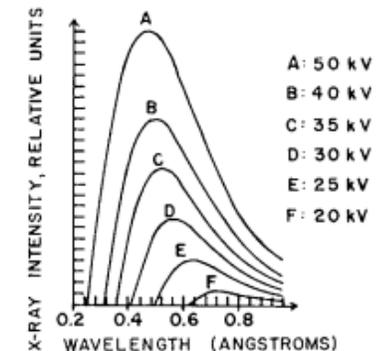
Corrente no filamento e corrente no tubo

Duas correntes fluem em um tubo de raios X:

- I. Corrente do Filamento: *É o fluxo de elétrons através do filamento que aumenta sua temperatura e libera elétrons*
 - II. Corrente Elétrica: *É o fluxo de elétrons liberados pelo filamento que são atraídos para o Ânodo por um campo Elétrico (corrente do tubo)*
- As duas correntes são separadas, mas inter-relacionadas
 - **Baixas Tensões:** Taxa de produção (liberação) de elétrons é maior que a aceleração, *formando uma nuvem* ao redor do filamento.
 - **Baixas Correntes de Filamento:**, Tensão saturação é atingida, *mesmo com o aumento da tensão nominal*.

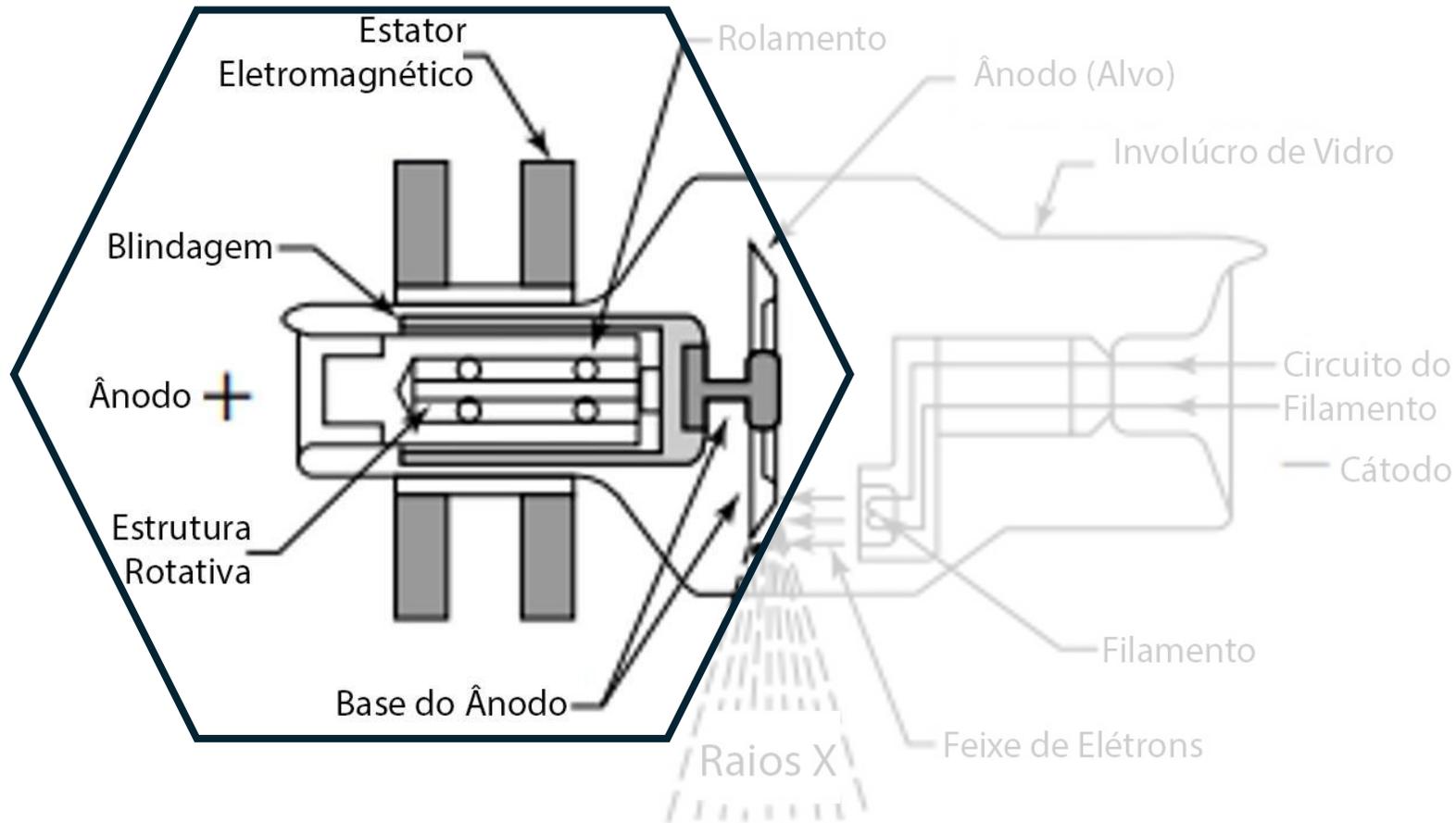


Distribuição das energias produzidas por um tubo de raio X típico



Mamografia:

Ânodo do tubo de raios X para mamografia

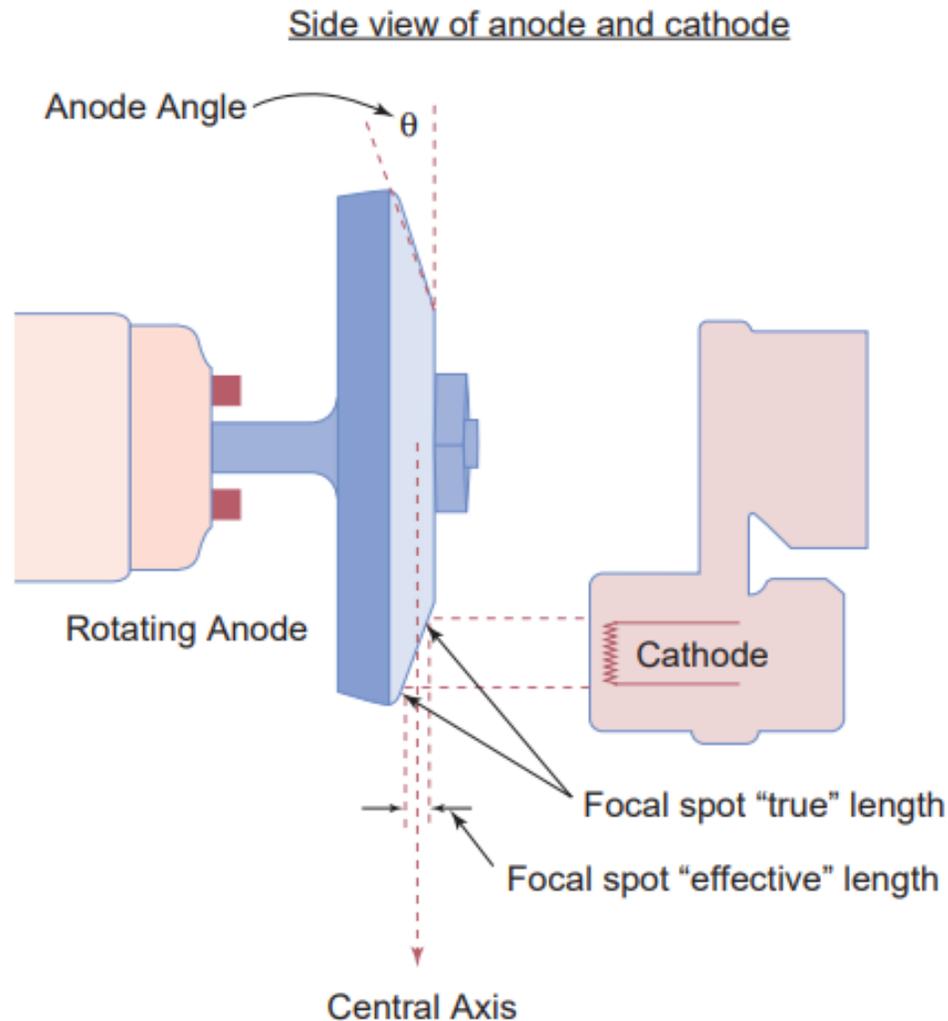


Mamografia:

Materiais do Ânodo e Característica

- Materiais de alvo anódico mais comum:
 - Molibdênio (Mo) – Material Clássico com RX Característico: 17,5 e 19,6 keV
 - Ródio (Rh) – Melhora a eficiência: 20,2 e 22,7 keV (Ganho RX característicos)
 - Tungstênio (W) - (vem se tornando o alvo escolha)
 - Maior número atômico
 - Melhor carga térmica
 - Maior ponto de fusão
 - Raios X Característicos: 59,3 keV
- Radiação característica (Mo /Rh) não é importante para sistemas digitais
 - Detetores possuem maior latitude de exposição
 - Processamento de imagens pós-aquisição pode aumentar o contraste
 - Alumínio (Al) / Titânio (Ti) – Materiais Recentes (sistemas digital) *OBS: RX Carct. Baixo*

Mamografia: Ângulo do Ânodo

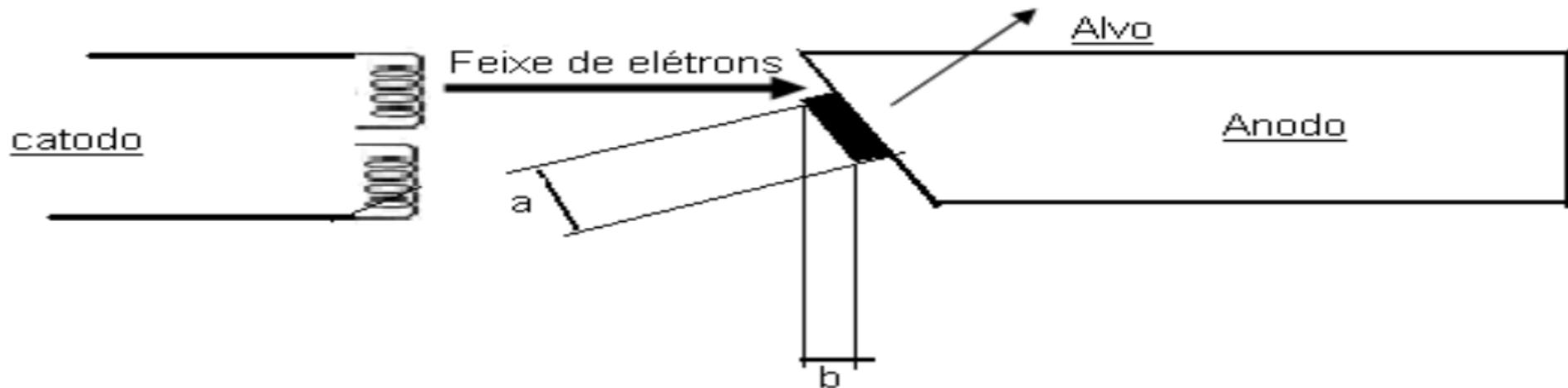


- O ângulo do ânodo é definido em relação ao Eixo Central no campo de raios X e pode variar de 0° a 16° (fabricante)
- **Ângulos menores** apresentam ponto focal efetivo menor para a mesma área real e proporciona melhor resolução espacial quando há uma ampliação da imagem mamográfica. Desvantagens:
 1. Limita campo de visão
 2. Limita a distância entre a fonte e o receptor de imagem
 3. Reduz a corrente máxima do tubo
 4. Aumenta o tempo de exposição
- **Área focal maior** é possível maior intensidade de saída de raios X com tempos de exposição menores
- **Necessidade de cuidados com efeitos térmicos, que reduz a vida útil de uso**
- **Existe um compromisso entre a área focal e corrente do tubo (anódica) para evitar maiores temperaturas**

Mamografia:

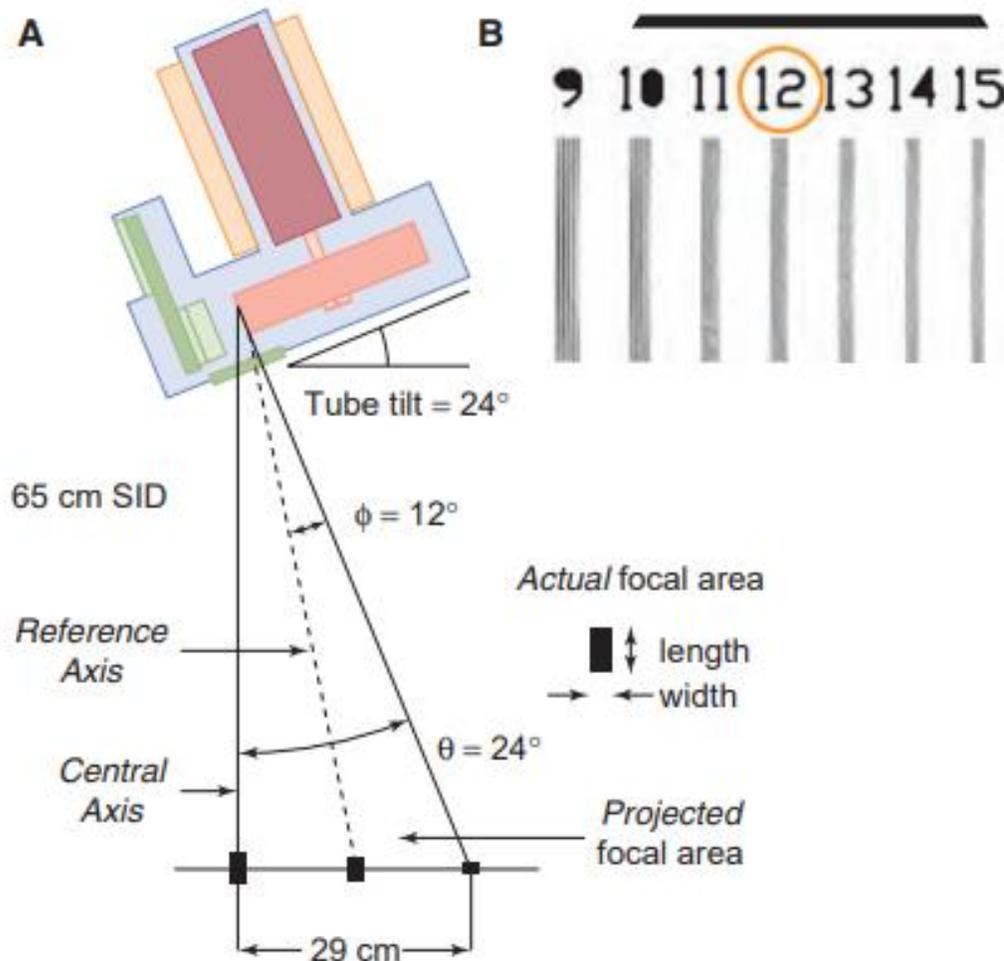
Considerações sobre o Ponto Focal

- Diretamente relacionada a resolução espacial, teoricamente, quanto menor, melhor a resolução
- Para diminuir o tamanho do ponto focal sem elevar a temperatura:
 - Inclinar o anodo em relação ao eixo de incidência do feixe
 - Usar anodo rotativo
- A inclinação **umenta a área do alvo atingida pelos elétrons, aumenta a dissipação** sem alterar o tamanho aparente do ponto focal



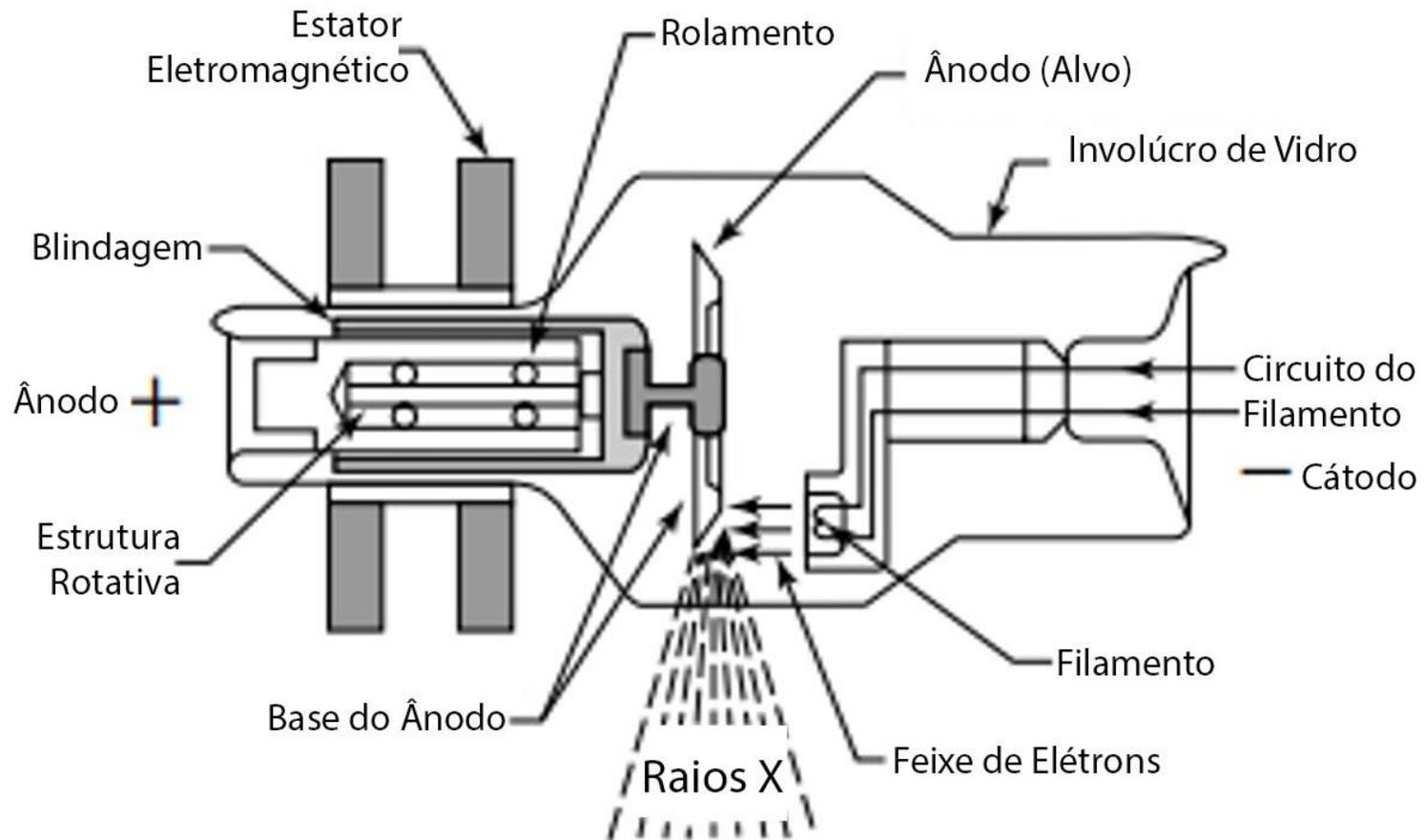
Mamografia:

Resolução do Ponto Focal, Colimação Fixa e Alinhamento



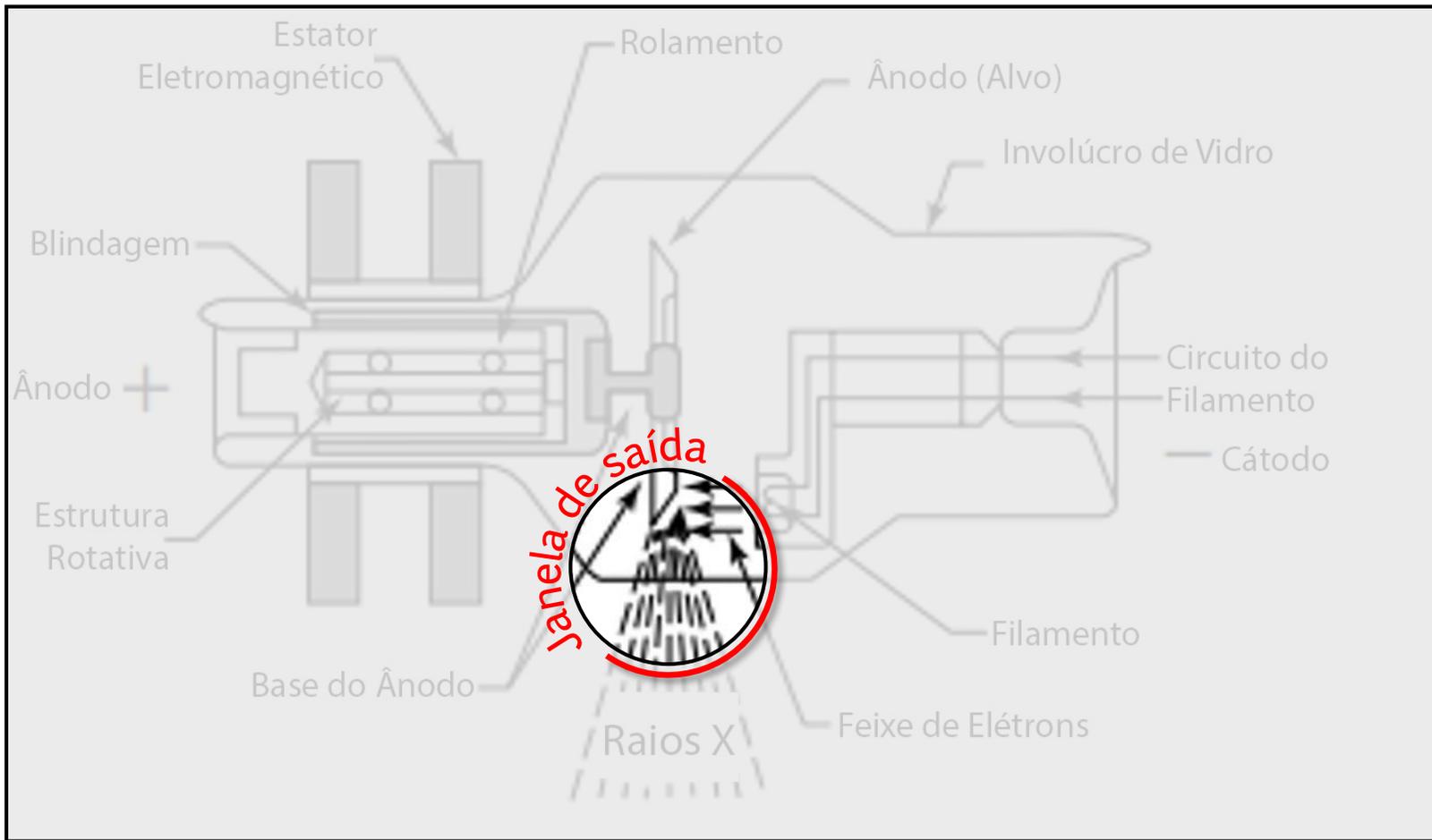
- Tamanho nominal entre **0,30 a 0,40** para mamografia de contato, com compressão contra a grade e o receptor de imagem
- Magnificação entre **0,10 a 0,15**, com compressão em suporte de magnificação com deslocamento do receptor de imagem (ampliação)
- Todos sistemas mamográficos utilizam geometria de feixe de raios X de **meio campo** por colimação fixa na cabeça do tubo para **EVITAR A EXPOSIÇÃO NO TRONCO DOS PACIENTES**
- Fundamental o alinhamento entre o tubo e o colimador para garantir que o Eixo Central do feixe dos raios X é direcionado para a borda da parede torácica e perpendicular ao plano receptor de imagem

Mamografia: Voltando ao tubo de raios X



Mamografia:

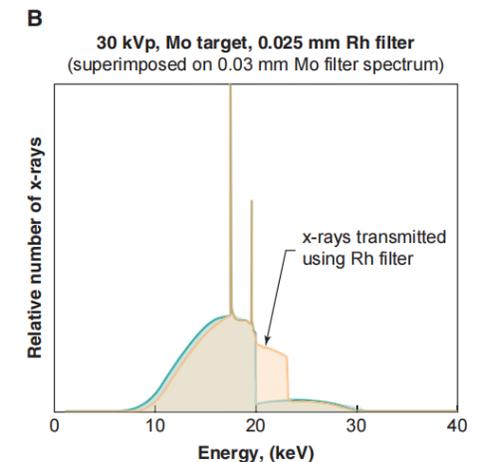
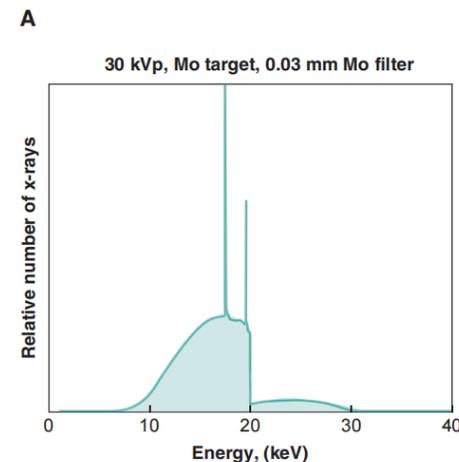
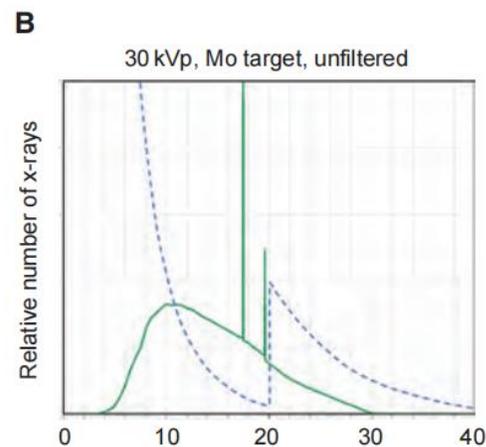
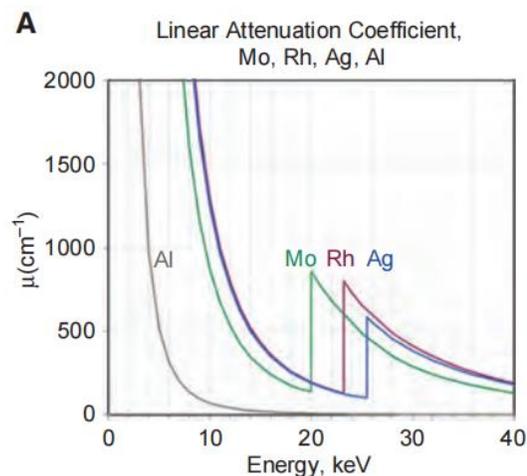
Janela de saída



Mamografia:

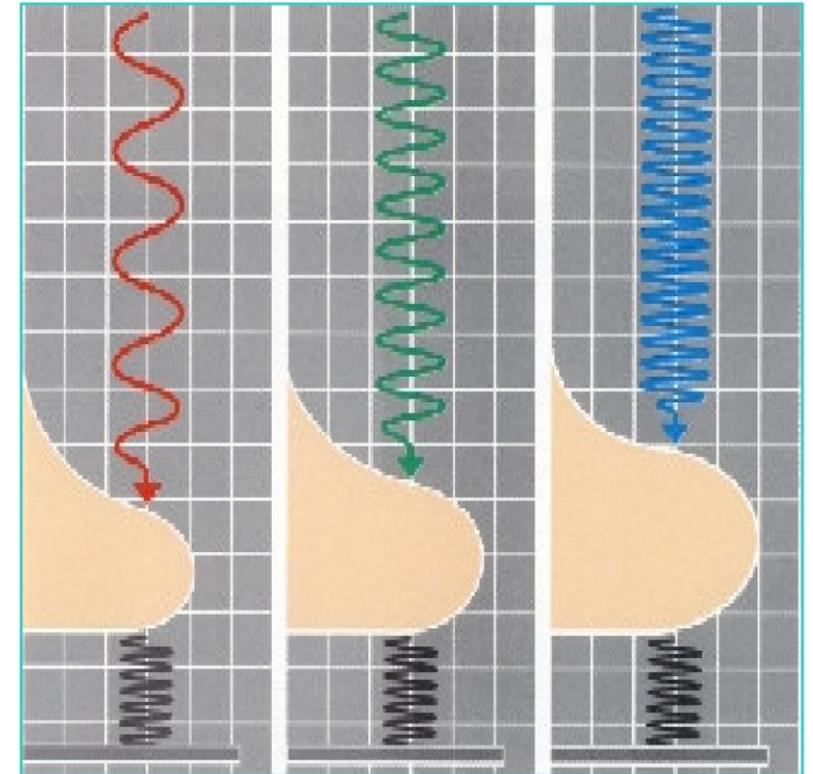
Janela, Filtração do Tubo e Qualidade do Feixe

- A janela (Berílio $Z=4$, espessura entre 0,5 a 1,0 mm) e os filtros (Mo, Rh, W e Ag) na saída desempenham papel fundamental na formação do espectro de energia dos raios X da mamografia
- **Filtra** a radiação com **energia baixa** (inferior a 5 keV) por **bremstrahlung** (melhora o contraste e reduz a dose no paciente, que geralmente seriam totalmente absorvidos pela mama)
- Também **filtram** a radiação com **alta energia** devido à alta absorção pela camada K, (faixa entre 20 keV a 27 keV) dependendo do projeto
- Espectro final, praticamente se restringe pela radiação característica



Mamografia: Densidade da Mama e o Alvo/Filtro

- Mamas maiores ou densas possuem maior quantidade de tecido fibroglandular presente e o contraste na imagem, em geral é menor
- A própria mama filtra o feixe, tornando-o mais duro (aumenta a energia), reduz a diferença de absorção (contraste) entre os tecidos presentes
- Alterar a relação do Alvo/Filtro de Mo/Mo para Mo/Rh é possível filtrar o feixe previamente, tornando-o mais penetrante para a mesma energia (kVp), o Rh possui energia de 23 keV



Vermelho: Combinação Mo/Mo

Verde: Mo/Rh

Azul: W/Rh

Mamografia:

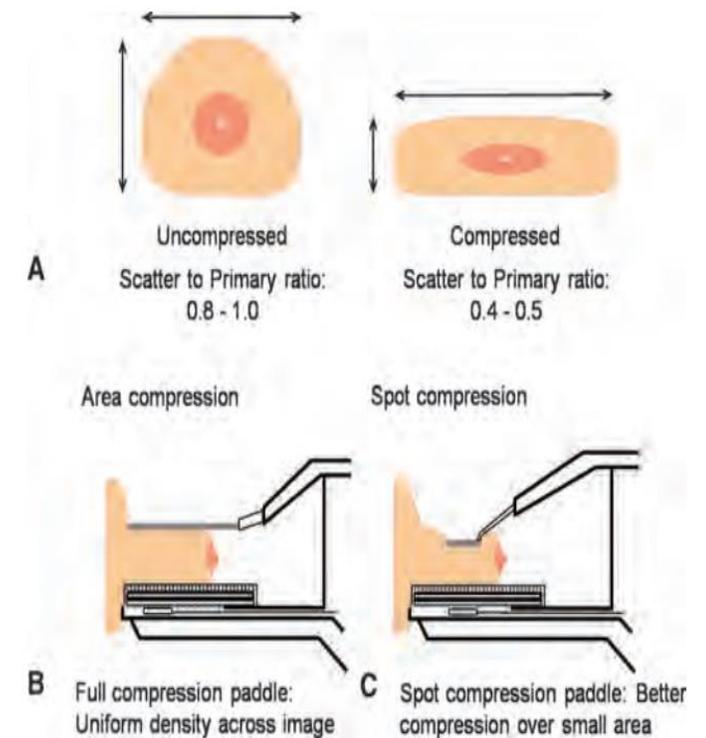
Colimação de Feixe

- É realizada por uso de estruturas metálicas de tamanho fixo ou de obturadores ajustáveis que produzem aberturas que limitam a abertura do campo às dimensões da imagem de interesse, classicamente 18x24 cm (padrão) ou 24x30 cm (grande)
- Não há desvantagem na colimação de campo total em comparação com a colimação apenas na mama, uma vez que todos os tecidos estão totalmente no feixe, para os dois casos.
- Exceto em estudos de ampliação e compressão pontual, o ajuste manual dos obturadores permite que o campo a ser irradiado seja mais compatível com o volume a ser fotografado.
- Importante que o campo de luz esteja o mais alinhado possível com o campo de raios X, e se atentar ao limite do campo projetado a ser radiografado, que seja sem corte na parede torácica no receptor de imagem, não superando em 2%
- Sempre que perceber problemas no sistema de colimação, é necessário que um serviço de ajuste seja solicitado

Mamografia: Compressão

Etapa importante no exame, independente da tecnologia

- ✓ É formado por uma placa de acrílico
- ✓ A compactação firme reduz a sobreposição anatômica
- ✓ Diminui a espessura do tecido (homogeneia a densidade a ser exposta)
- ✓ Reduz o movimento da mama (Resulta em menos raios X dispersos)
- ✓ Menor barramento geométrico anatômico das estruturas
- ✓ Menor dose de radiação nos tecidos mamários
- Obter uma mama uniforme traz vantagens com a menor espessura:
 - ✓ Melhor aproveitamento da faixa dinâmica (sistema digital)
 - ✓ Uso de filmes de maior contraste (tela-filme)



Mamografia: Espalhamento da Radiação

- A Radiação Espalhada é uma distribuição de radiação aditiva, que degrada gradualmente o contraste e adiciona ruído aleatório
- Se o contraste máximo do objeto **sem** dispersão for C_0 e **com** dispersão for C_S , o fator de degradação do contraste F_{dc} pode ser aproximado como:

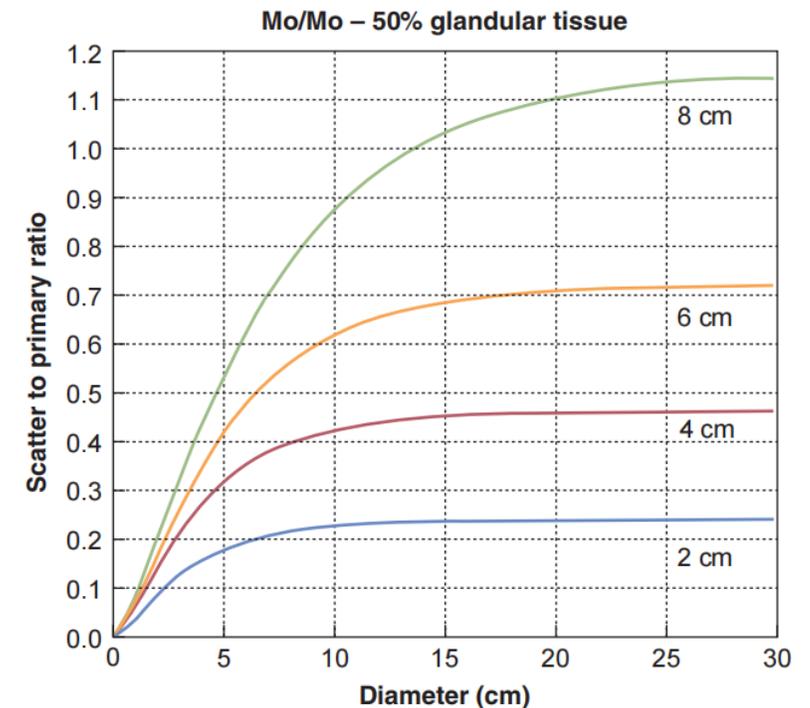
$$F_{dc} = \frac{C_S}{C_0} = \frac{1}{1 + R_{dp}}$$

Onde: R_{dp} é a razão dispersão para o primário e essa dispersão radiológica eleva com o aumento da espessura e da área da mama

Exemplo, uma mama de 6 cm comprimida terá um $F_{dc} \approx 0,6$ e o fator de degradação de dispersão pode ser estimado:

$$\frac{1}{1 + 0,6} = 0,625 = 62,5\%$$

Principal problema da dispersão:
Fótons espalhados adicionam ruído aleatório degradando a SNR na mamografia digital



Mamografia:

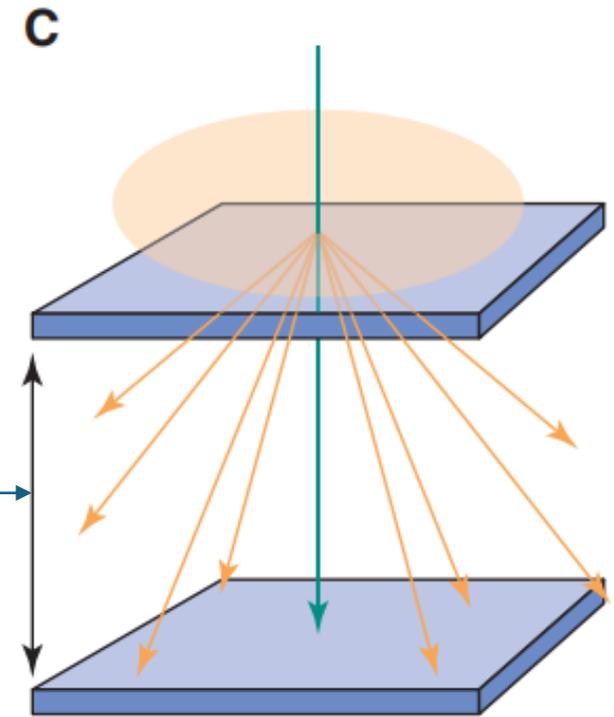
Técnicas para reduzir a radiação espalhada

- Duas técnicas úteis para reduzir a Radiação Espalhada é com o uso de:

I. Um Intervalo de Ar (Air Gap)

II. Uma grade antiespalhamento

- O intervalo de ar reduz a dispersão conforme aumenta a distância da mama em relação ao detector, devido à grande fração de radiação espalhada que não chega ao detector.
- Consequências do Air Gap é:
 - ✓ Campo de visão reduzido (FOV)
 - ✓ Magnificação da mama ampliada
 - ✓ Dose na mama aumentada
 - ✓ Air Gap for longo pode tornar o uso da *grade* desnecessário que evita elevar a dose



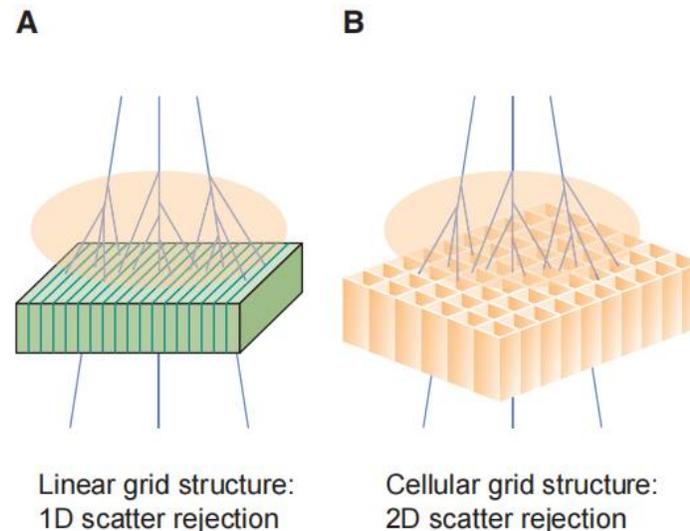
Air gap and magnification:
geometric scatter rejection

Mamografia:

Técnicas para reduzir a radiação espalhada

- Outra forma de reduzir a radiação espalhada é com o uso de **Grade antiespalhamento**, geralmente adotado na mamografia de contato, e está localizada entre a mama e o detector
- **Radiação Primária:** Transmitem entre 60% e 70% e absorvem entre 75% e 85% da radiação espalhada (secundária)
- Existem diversos modelos de grades, **modelos focados do tipo linear**.
- A altura dos **septos** A_s (**Pb, Cu, etc.**) e o **Interespaço** I entre os septos (**fibra de carbono**) material radiotransparente.
- A razão de grade R_g é dada pela razão entre A_s e I .
- Exemplo: Septo de 1,5 mm altura e 0,3 mm de separação.
- $R_g = \frac{A_s}{I} = \frac{1,5}{0,3} = 5$
 - Mamografia a razão de grade normalmente é entre:
 - 4:1 a 5:1

Exposições excessivamente curtas são a causa da maioria dos artefatos de linha de grade devido ao movimento insuficiente da estrutura



Artefatos são evitados com a oscilação da grade em aproximadamente 20 linhas durante a exposição

Mamografia:

Consequências do uso de Grade Antiespalhamento

- Seu uso impõe penalidades de aumento na dose para compensar a perda de radiação primária, contribui para a melhora do SNR (ou D.O.)
- Em sistemas **tela-filme** considera o **fator de Bucky** que eleva a dose de 2X a 3X com benefício de melhora de contraste em até 40%
- Em sistemas **digitais**, o conceito é aplicado para a **perda de sinal** na imagem digital a partir da radiação primária sendo atenuada pelas grades que elevará a exposição para alcançar uma SNR semelhante sem a grade
- O uso de grades em sistemas digitais geralmente necessitam de menor exposição em relação aos de tela-filme (mais eficientes)
- Desempenho de grades em sistemas digitais está longe de ser o ideal, mas a aquisição nesta tecnologia com o processamento de imagens, mitigam a dose intercorrida pelo uso de grades em sistemas convencionais

Mamografia: Gerador de Raios X

- Gerador de raios X para mamografia é semelhante a um sistema de raios X convencional mas com as seguintes diferenças:

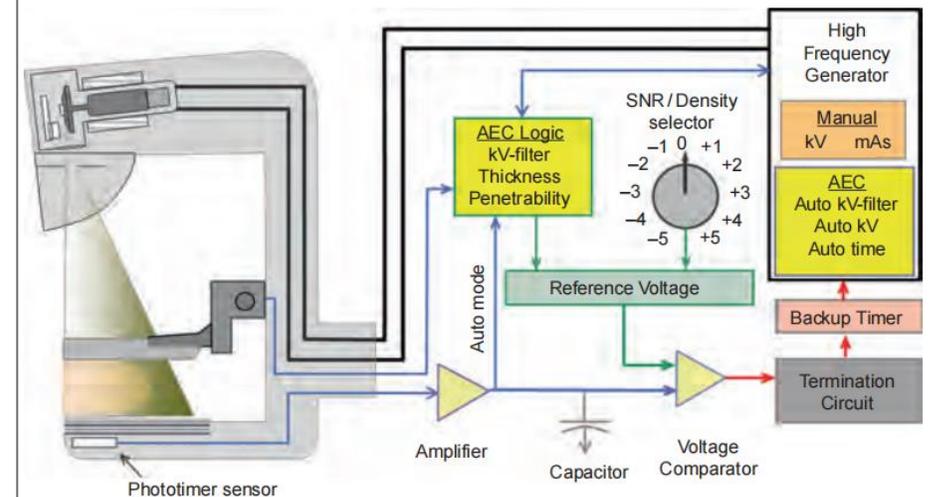
A. Opera em tensões mais baixas

B. Usam circuito de controle automático de exposição (AEC)

O sistema AEC emprega:

- I. Um ou mais sensores de radiação
- II. Um amplificador de carga
- III. Um comparador de tensão para controlar a exposição

É possível variar o ajuste da exposição normalmente em onze passos, variando no painel de -5 a neutro e de neutro a +5 e em geral, cada passo fornece uma diferença relativa entre 10% a 15% na exposição (valores de D.O. ou de SNR)



Mamografia:

Fotocélula

Receptores baseados em sistema tela filme (ou radiografia computadorizada CR), esse sensor (fotocélula) fica localizado abaixo do cassete e consiste e, uma única câmara de ionização ou uma matriz de três ou mais diodos semicondutores.

1. Raios X são transmitidos através da mama,
2. Passam pela grade anti-espalhamento (**se presente**)
3. Pelo receptor de imagem (Filme, placa IP, detetores, etc.)
4. Pela fotocélula que gera um sinal
 - Esse sinal é integrado e quando atinge um valor definido, a exposição é encerrada
 - Esse valor corresponde a uma relação sinal-ruído (SNR) especificada para sistemas digitais ou de densidade ótica (DO) para sistemas convencionais
 - O algoritmo da fotocélula usa várias entradas para determinar a técnicas radiográfica, incluindo: **espessura da mama comprimida**, as configurações de **ajuste de tempo, kV**, seleção do **alvo** (se disponível) e seleção do **filtro** para obter a **D.O.** ou **SNR** na imagem a ser adquirida

Mamografia:

Fotocélula – Modos de Operação

O operador tem diferentes opções de trabalho a depender do equipamento:

- a) **Filtro Automático:** AEC totalmente automático, define o kV, define filtração ideal, define tempo de exposição. Em alguns casos, para exposição curta, define corrente fixa em 100 ms para garantir maior penetração de radiação na mama.
- b) **Tensão Automática:** AEC parcialmente automático, define o kV, tempo automático, sendo o filtro selecionado manualmente pelo operador e há diferentes condições de ajuste do tempo sendo condições padrão, ou que prioriza menor dose ou para maior contraste.
- c) **Tempo Automático:** AEC simples, controle somente o tempo de exposição de forma automática, sendo os demais parâmetros definidos manualmente: kV, alvo, filtro
- d) **Manual:** AEC desligado. Todos os parâmetros são definidos manualmente: kV, alvo, filtro e tempo

OBS: A habilitação da fotocélula, em geral é obrigado manter o compressor da mama instalado no equipamento

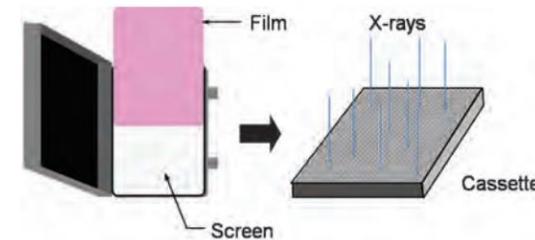
Mamografia: Sistema tela-filme

- Composto por um **cassete** (fibra de carbono), com **tela intensificadora simples** (fósforo de alta definição), e um **filme sensível à luz simples** (emulsão única), sendo a imagem latente é formada somente de um lado.
- O **oxissulfeto de gadolínio ativado por térbio** $Gd_2O_2S:Tb$ é o fósforo de tela mais utilizado, este cintilador emite luz verde, exigindo uma emulsão de filme verde sensível.
- Luz vermelha na sala de revelação (energia não interage com o filme)

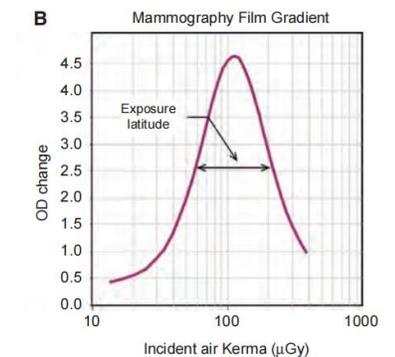
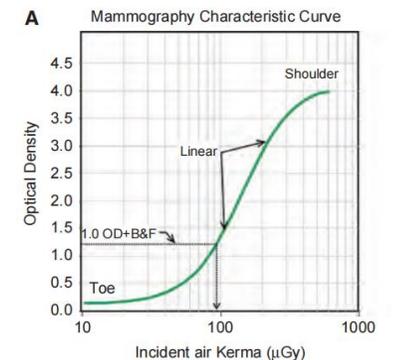
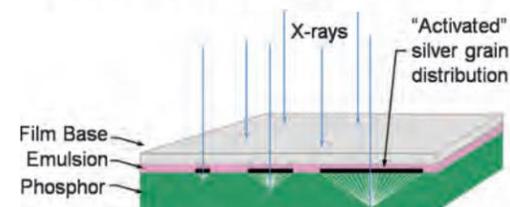
O espectro atravessa o cassete, interage com o fósforo da tela intensificadora, que produz fótons com energia sensíveis para serem registradas no filme.

Absorção que ocorre em **maior profundidade** produz distribuição de luz **mais ampla** e **reduz a resolução espacial** (ocorre em menor quantidade devido a absorção com a profundidade).

A velocidade de resposta da tela, deve ser semelhante a resposta de velocidade do filme, **para evitar perda de qualidade**



Single Emulsion Film and Single Phosphor Screen



Mamografia:

Variabilidade da resposta de contraste tela-filme

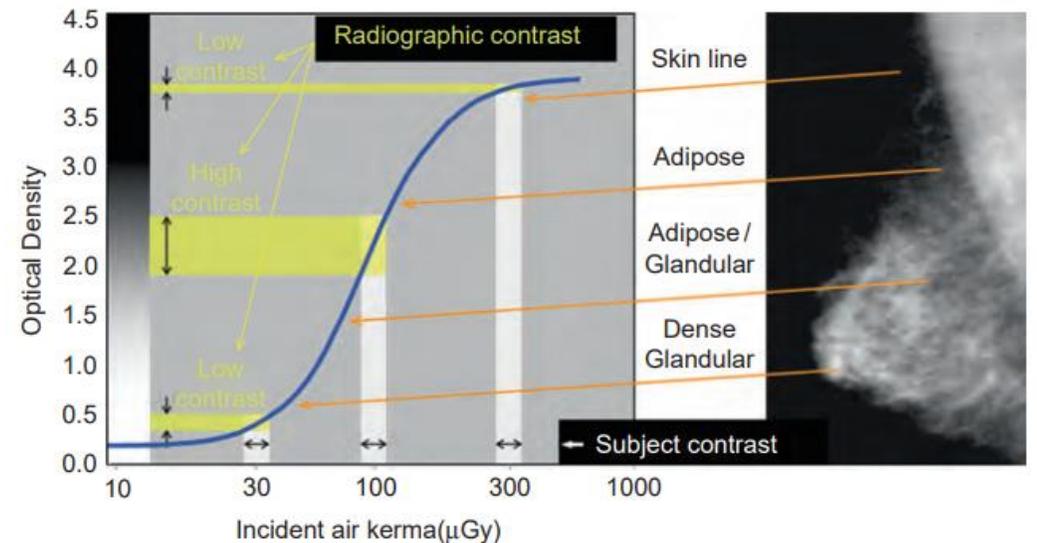
O contraste radiográfico resulta de variações no contraste do objeto que são traduzidas nas diferenças de DO de acordo com a curva característica do filme.

Contraste radiográfico varia de acordo com a exposição incidente a cada área do filme na tela.

O melhor registro do contraste do objeto ocorre nas áreas do filme em que a exposição corresponde à **parte mais íngreme da curva** característica do filme.

Redução significativa do contraste ocorre nas partes do filme em que as exposições correspondem aos segmentos da base+FOG e ombros da curva.

Infelizmente, nem todas as informações anatômicas importantes são fornecidas com contraste ideal, particularmente no tecido glandular mamário denso e na linha da pele



Mamografia:

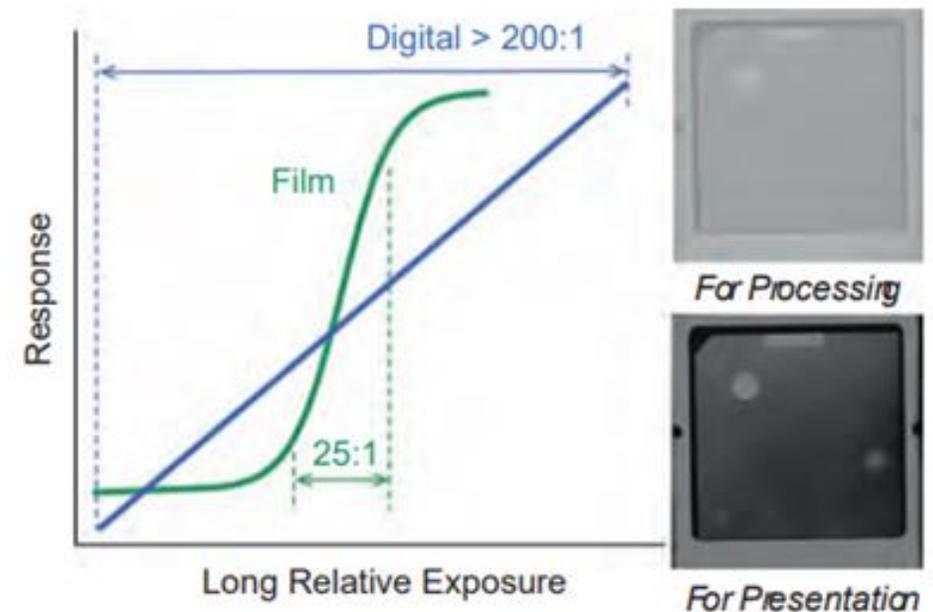
Variabilidade da resposta de contraste em sistemas Digitais

Uma das inúmeras vantagens do sistema digital (em relação ao convencional), é a capacidade de superar as limitações de latitude de exposição dos detectores de filme de tela e produzir melhor qualidade de imagem em doses mais baixas.

Uma mama altamente glandular pode produzir uma latitude de exposição superior a 200:1, causando áreas de filme subexpostas correspondentes ao tecido glandular e áreas de filme superexpostas correspondentes à linha da pele e partes mais finas da mama.

Sistemas digitais têm faixas dinâmicas de exposição superiores a **1.000:1**, resultando em imagens mostrando pouco contraste quando todas as faixas de valores de pixel são exibidas. Dados completos (**For Processing**)

O Pós-processamento específico para mamografia, o alto contraste renderiza todos os níveis de exposição, mostrando uma imagem capaz de diferenciar pequenas diferenças para as mesmas regiões anatômicas da mama, quase imperceptível no sistema convencional. (**For Presentation**)



Mamografia:

As 4 Tecnologias da Mamografia Digital

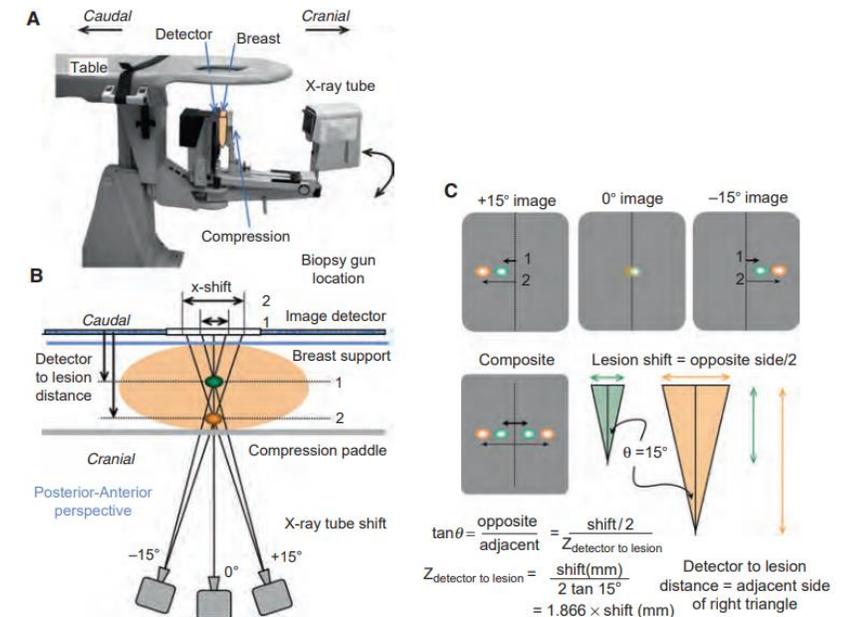
1. de dispositivos acoplados à carga (Chip de CCD)
 - ✓ Primeira tecnologia de mamografia digital, já com a aquisição **direta** (1990)
 - ✓ Principal uso na **Estereotaxia** para localizações pré-operatórias e biópsias
 - ✓ Não são usados para mamografia de campo total devido a limitação do tamanho do detector
2. de fósforo fotoestimuláveis (Placa de PSP):
 - ✓ Primeira tecnologia para mamografia digital de campo total, com aquisição **indireta** (1995)
 - ✓ Pode ser usado em mamógrafos com sistema tela-filme (vantagens)
 - ✓ Desvantagens: (1) Pode ser instalado em equipamento antigo, (2) Apresenta menor SNR, (3) menor resolução, (4) placas podem danificar, (5) maior dificuldade para apresentar equilíbrio entre qualidade de imagem e menor dose, (6) etc.
3. de conversão indireta (Matriz de TFT com CsI)
 1. Evolução da tecnologia de para mamografia digital de campo total, com aquisição **indireta** (2000)
 2. Primeiros mamógrafos digitais de campo total, dedicados a mamografia
 3. Evolução significativa na SNR, ganho de resolução, integração com outras tecnologia em rede
4. de conversão direta (Matriz de TFT com a-Se)
 1. Primeira tecnologia para mamografia digital de campo total, com aquisição **direta** (2010)
 2. Profunda Integração com PACS

Mamografia: Biópsia Estereotáxica da Mama

Também chamada de mamotomia guiada por estereotaxia

Permite a localização de lesões com imagens mamográficas em 3D e com um instrumento de biópsia direcionado permite a remoção de vários fragmentos de tecido de uma só vez (microcalcificações, massas e áreas de distorção arquitetural), geralmente com orientação ultrassonográfica ou por RM

1. A mama é alinhada e comprimida por uma pá de área aberta.
2. É feita uma primeira exposição para verificação da imagem SCOUT
3. Três imagens são adquiridas (-15° , 0° e $+15^\circ$)
4. As projeções da lesão se deslocam sobre o detector



Mamografia:

Radiografia Computadorizada – Sistemas CR

Sistema de **detecção/leitura** (sinais), usa placas de imagem de fósforo de armazenamento fotoestimulável CR (PSP)

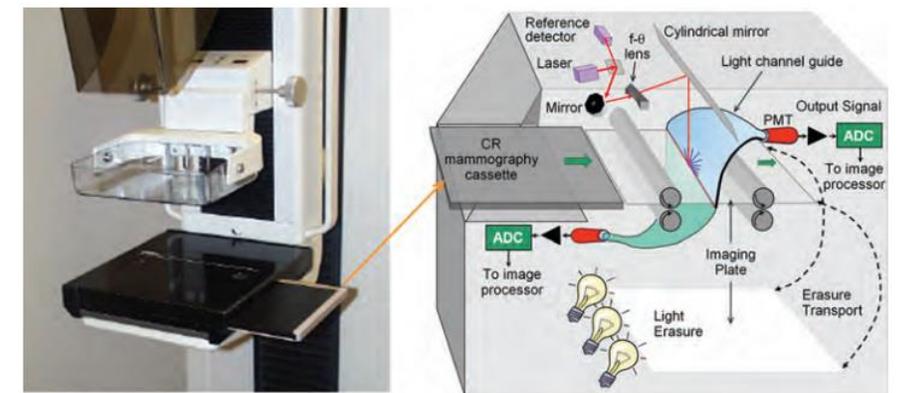
Utiliza um cassete com funcionamento semelhante ao do sistema tela-filme, a placa faz o papel do filme (reutilizado)

Leitora CR tem um funcionamento semelhante a processadora do sistema tela-filme, após exposta, a placa é processada por um leitor que varre a superfície com laser capaz de fornecer energia para liberar os elétrons excitados armazenados das armadilhas, caindo pelo processo de **luminescência estimulada**.

Parte da luz atinge o tubo fotomultiplicador, produz e amplifica uma corrente elétrica proporcional a luz incidente.

Este sinal é digitalizado e irá fornecer os valores dos pixels da imagem digital

O tempo de resposta é semelhante ao do sistema tela-filme



Mamografia:

Matrizes de transistores de filme fino (TFT)

“Thin Film Transistor” (TFT) são matrizes de detectores utilizados como elementos eletronicamente ativos para coletar o sinal elétrico em sistemas de **conversão indireta** e **direta**.

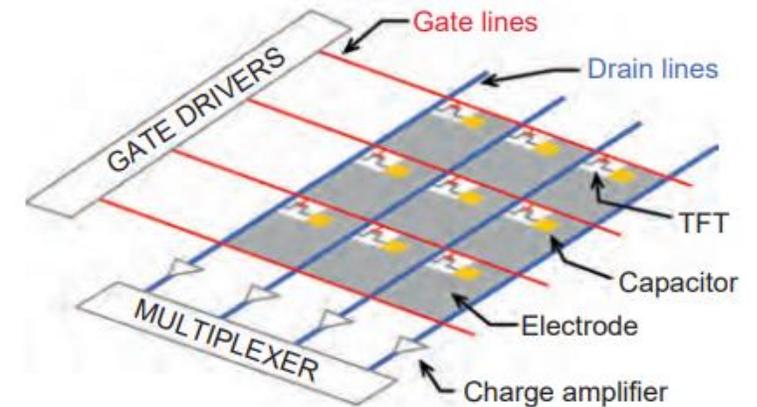
A matriz de detectores é depositada sobre múltiplas camadas de vidro sendo que a composição **da última camada depende do tipo de detector**.

Sistemas de conversão **indireta**, que utilizam elementos sensíveis à luz, são adicionados à camada de TFT **fotodiodos** que terão a função de **converter a luz em sinal elétrico**

Sistemas de conversão **direta**, onde não é necessária a conversão de raios X em luz, torna-se desnecessário o emprego de elementos fotossensíveis, somente sendo adicionado à **última camada** de TFT **semicondutores de selênio amorfo (a-Se)**

A Matriz de Transistor de Filme Fino (TFT) (**ATIVA**) coleta o sinal local (**carga elétrica**) gerado durante o processo de **exposição, absorção e conversão de raios X**.

Armazena a carga em um capacitor acoplado a cada elemento detector; e lê ativamente a matriz imediatamente depois para produzir a imagem.



Mamografia:

Performance dos sistemas digitais

- Os parâmetros mais comuns de avaliação englobam (1) **CNR**; (2) **SNR**; (3) **Dose** e (4) **Resolução espacial**
- Função de Transferência de Modulação (FTM) mede a relação entre as modulações de **entrada** e **saída** de um sistema de imagem em função da **frequência espacial**.
- A Eficiência Quântica do Detector (DQE) é a medida da porcentagem de raios X que alcança o detector e podem ser absorvidos. Alta eficiência produz imagens com alta qualidade usando baixas doses, o **a-Se pode atingir até 95%**
 - *Sistema tela-filme entre 50-70% e conversão indireta entre 50-80%*
- O método de conversão indireta espalha luz sobre vários pixels (limitando a resolução) além do pixel isolado.
- Conversão direta:
 - ✓ Não sofre esta limitação
 - ✓ A nitidez da imagem é superior em relação aos sistemas anteriores.
 - ✓ FTM de performance elevada mesmo para altas frequências espaciais

Mamografia:

Mamografia Digital de Conversão Direta

Este sistema representa um avanço tecnológico que elimina problemas associados com espalhamento de luz, inerente aos sistemas indiretos.

Os fotocondutores absorvem a radiação diretamente, gerando sinais elétricos que são rapidamente coletados no capacitor pela influência externa do campo elétrico, resultando em uma excepcional diminuição da linha de espalhamento.

A função de resposta de nitidez não tem dependência com a espessura do fotocondutor

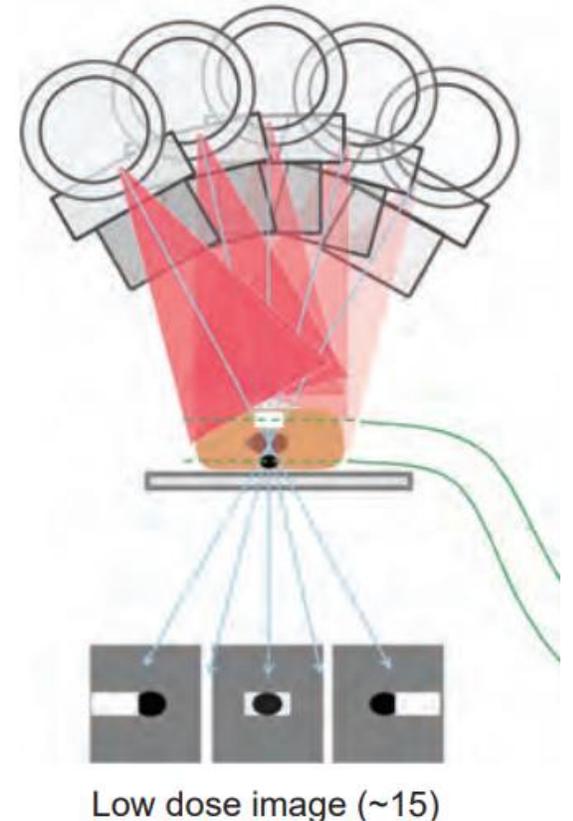
O uso do selênio amorfo (a-Se) promove **maior eficiência quântica e maior contraste** de imagem, resultando em mamografias com **melhor qualidade de imagem e melhor performance do diagnóstico**.

Novas tecnologias surgem com mamógrafos de dupla energia e uso de contraste elevam a performance.

Mamografia: Tomossíntese Digital da Mama

- É um mamógrafo digital que comprime a mama e faz múltiplas imagens em forda de um arco.
- Trata-se de uma tecnologia avançada da imagiologia mamária que associa o processamento pós-aquisição com múltiplas imagens de baixa dose em várias posições angulares (arco ao redor da mama).
- Cada projeção contém imagens 1 mm espessura da mama que é observado por diferentes ângulos que permite identificar lesões cada vez menores e que poderiam estar ocultas devido a sobreposição das estruturas mamárias (imagens em 3D)

A *Image Acquisition:*
Multiple angular views
11 – 25 images, < 5 s



UNIFESP



UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SÃO PAULO

Aspectos Físicos no

Diagnóstico por Mamografia

Prof. Dr. Silvio Ricardo Pires

Especialista em Física Médica do Radiodiagnóstico

RX-326/1540