



Interação dos Raios X com a Matéria

Os **Raios-X podem ser:** Transmitidos, Absorvidos, Espalhados.

A probabilidade da interação depende da energia do fóton incidente, da densidade do meio, da espessura do meio, do número atômico do meio.

Modo de interação :

a) Mais relevantes:

b) Menos relevantes

Efeito Fotoelétrico

Espalhamento Compton

Espalhamento coerente
Produção de pares
Fotodesintegração

Prof. Alwin Elbern, - DENUC UFRGS

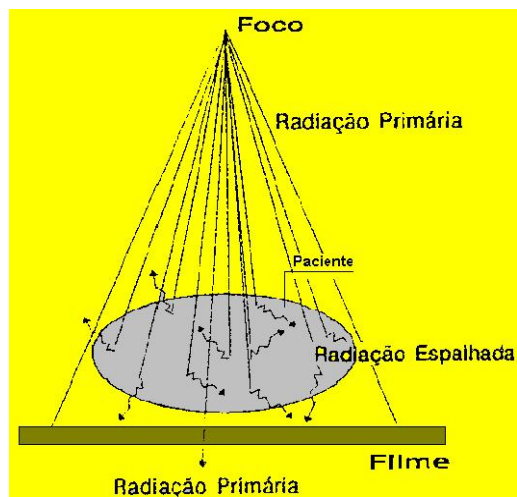
1



Radiação Espalhada no Paciente

ORIGEM:

**Efeito Fotoelétrico
e Efeito Compton**



Prof. Alwin Elbern, Ph.D. - DENUC UFRGS

2

Efeito Fotoelétrico

- Esse efeito ocorre quando um fóton interage com um elétron orbital transferindo para ele toda sua energia. Para isso, o fóton precisa ter energia suficiente para deslocar o elétron e ainda para lhe fornecer energia cinética suficiente para o ejetar da órbita.
- **Nessa interação o fóton desaparece e o átomo é ionizado.**

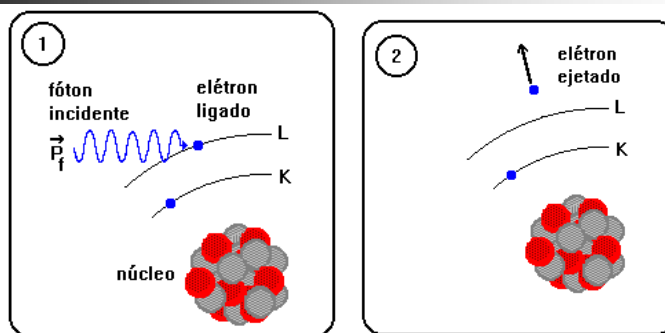
Efeito Fotoelétrico produz:

- raios X característicos.
- fotoelétron ejetado
- íon positivo
- $K_{\text{máx}} = e.V_0 - \phi$

Prof. Alwin Elbern, Ph.D. - DENUC UFRGS

3

Efeito Fotoelétrico

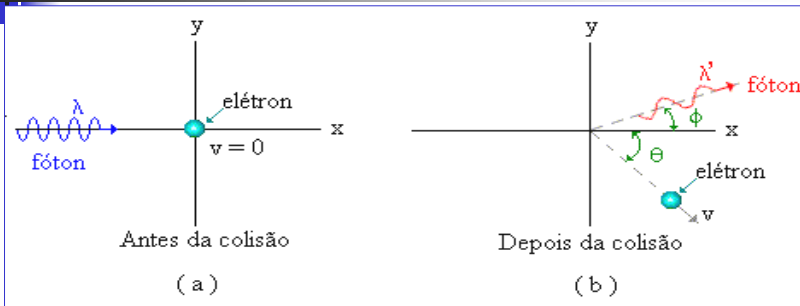


- **O átomo remanescente fica ionizado,**
- A vacância da camada interna é preenchida por elétrons das camadas externas, ocorrendo emissão de **radiação característica** ou **elétrons Auger** nas transições.

Prof. Alwin Elbern, Ph.D. - DENUC UFRGS

4

Efeito Compton



- Na interação Compton, os raios X transferem para os átomos-alvo parte da sua energia, a fim de promover o deslocamento de elétrons que estão situados nos orbitais mais periféricos da eletrosfera. Nessa interação, um fóton continua a se propagar depois de interagir com o meio, seguindo, no entanto, uma direção diferente daquela que possuía antes da interação.

Prof. Alwin Elbern, Ph.D. - DENUC UFRGS

5

Energia dos Raios X

- Policromáticos** (Espectro)
- Energia **efetiva** dos fótons: de 1/3 a 1/2 da energia máxima

Raios X	Energia (keV)	Filtragem adicional
Mamografia	24 - 32	30 μm molibdênio
Radiografia	< 50	> 0.5 mm alumínio
Radiografia	50 - 70	> 1.5 mm alumínio
Radiografia	> 70	> 2.5 mm alumínio
Estudos de alta tensão (tórax)	> 100	> cobre/alumínio

Prof. Alwin Elbern, Ph.D. - DENUC UFRGS

6



Efeito da Energia dos RX

Quando o efeito predominante na interação dos raios X é o efeito fotoelétrico e não o efeito Compton, uma elevação no kV_p reduziria significativamente o contraste da imagem.

O efeito fotoelétrico predomina quando o número atômico do objeto é alto e quando a energia dos fótons é baixa.

- Queda da probabilidade de absorção segundo $1/E^3$
- Aumento da probabilidade de absorção segundo Z^3

Nos outros casos predomina o Efeito Compton.

Prof. Alwin Elbern, Ph.D. - DENUC UFRGS

7



Fatores que contribuem para a Radiação Espalhada

Vários fatores contribuem para aumentar a quantidade de radiação espalhada presente na direção do feixe primário.

Os principais fatores são: a área do feixe de raios X (ou área de campo), a espessura do corpo e, o kV_p - um valor alto gera radiação espalhada com energia alta, e portanto, mais penetrante.

No caso de kV_p baixo, a radiação espalhada gerada é menos penetrante e, portanto, é absorvida próxima do local onde é gerada.

Prof. Alwin Elbern, Ph.D. - DENUC UFRGS

8



Imagem Radiográfica e Contraste

A função de qualquer sistema que forneça imagens médicas é detectar características específicas do interior do corpo e **transformá-las em imagens** (em tons de cinza ou coloridas).

Se o **contraste** for adequado, o objeto será visível. O grau de contraste na imagem médica depende do tipo de objeto e do aparelho de Radiodiagnóstico.

Contraste significa diferença. Em uma imagem, o contraste pode aparecer em forma de diferentes tons de cinza ou intensidades luminosas, ou ainda cores. O contraste é a característica mais importante de uma imagem.

Prof. Alwin Elbern, Ph.D. - DENUC UFRGS

9



Contraste

Um objeto dentro do corpo **será visível se e somente se** ele tiver contraste físico suficiente em relação aos tecidos circunvizinhos. Por isto, imagens com contraste muito baixo, em geral, não têm utilidade.

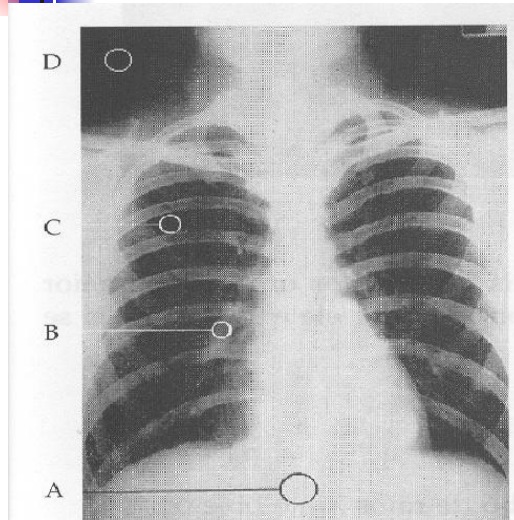
O contraste que aparece na imagem final é determinado por fatores, como:

- **diferença adequada na densidade;**
- **diferença na composição química do objeto;**
- **diferença no número atômico do objeto;**
- **objeto suficientemente espesso.**

Prof. Alwin Elbern, Ph.D. - DENUC UFRGS

10

Radiografia do Tórax



Radiografia do Tórax mostrando diversos graus de densidade óptica.

Prof. Alwin Elbern, Ph.D. - DENUC UFRGS

11

Contraste Virtual

Os materiais que tem contraste alto em relação aos tecidos moles do corpo na imagem diferem deles em densidade e número atômico.

O **contraste virtual** é gerado pelos fótons que emergem do corpo do paciente imediatamente após a passagem do feixe de raios X.

O **contraste virtual** representa as diferenças de exposição entre diversas áreas do receptor de imagem aos raios X.

Prof. Alwin Elbern, Ph.D. - DENUC UFRGS

12



Contraste Virtual

O **contraste virtual** é produzido devido ao fato que a penetração dos raios X através de um objeto e a penetração através do tecido de fundo, é diferente. Para objetos que atenuam mais a radiação que o tecido adjacente, o contraste é inversamente proporcional à penetração do objeto (quanto maior a penetração, menor o contraste).

A quantidade de contraste virtual produzida é determinada pelas características do contraste físico do objeto (número atômico, densidade e espessura) e também pelas características de penetração (espectro de energia do fótons) do feixe de raios X.

Prof. Alwin Elbern, Ph.D. - DENUC UFRGS

13



Contraste Máximo

O **contraste máximo (100%)** ocorre quando nenhuma radiação X passa através do objeto. Objetos de metal, são um exemplo (prótese de metal, pinos, etc).

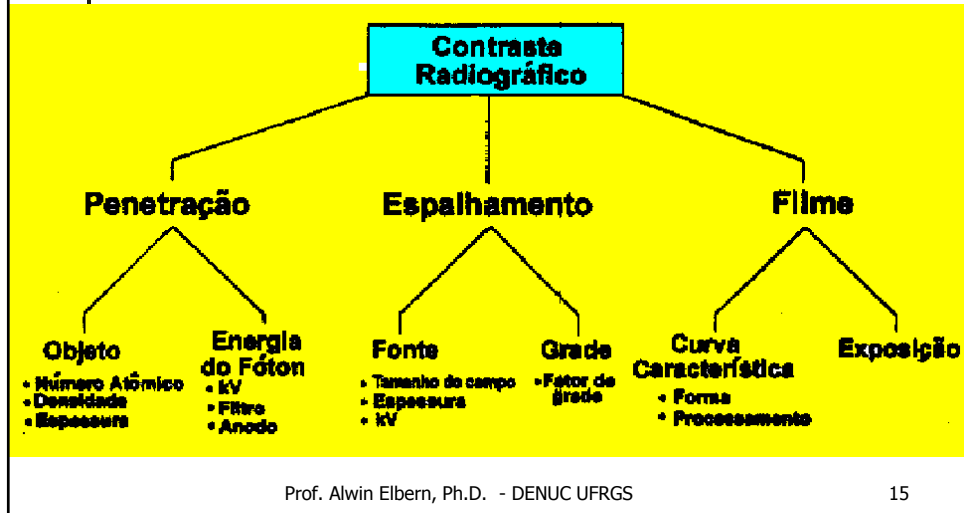
O contraste é reduzindo conforme aumenta a penetração dos raios X através do objeto.

Quando a penetração através do objeto é próxima da penetração através da espessura do material circundante, o contraste tende a desaparecer.

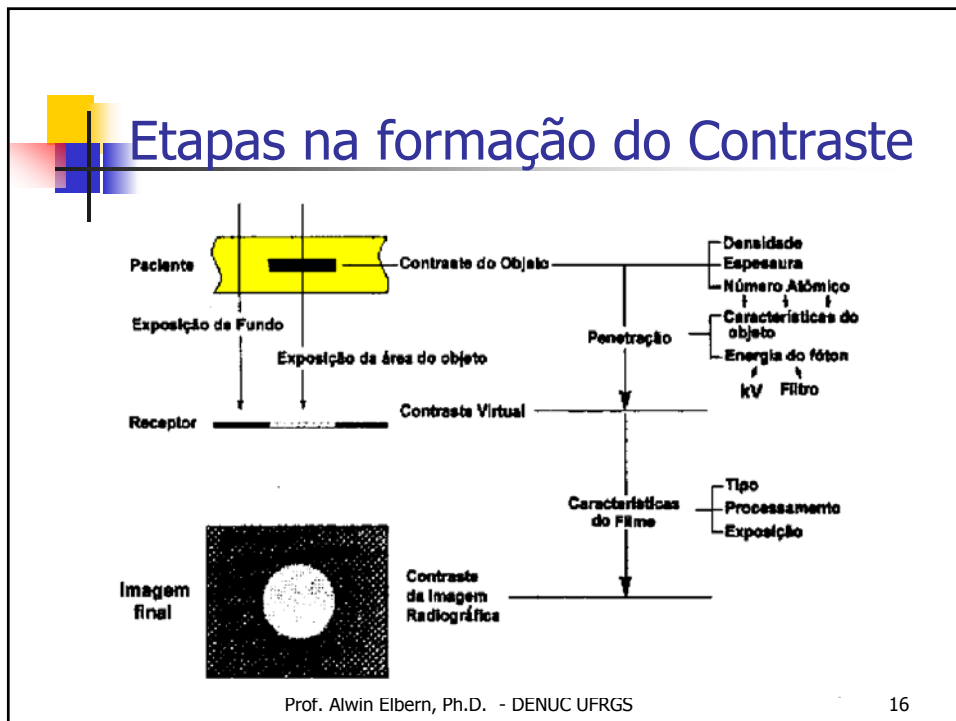
Prof. Alwin Elbern, Ph.D. - DENUC UFRGS

14

Fatores que influem no Contraste



Etapas na formação do Contraste



Contraste entre áreas de interesse

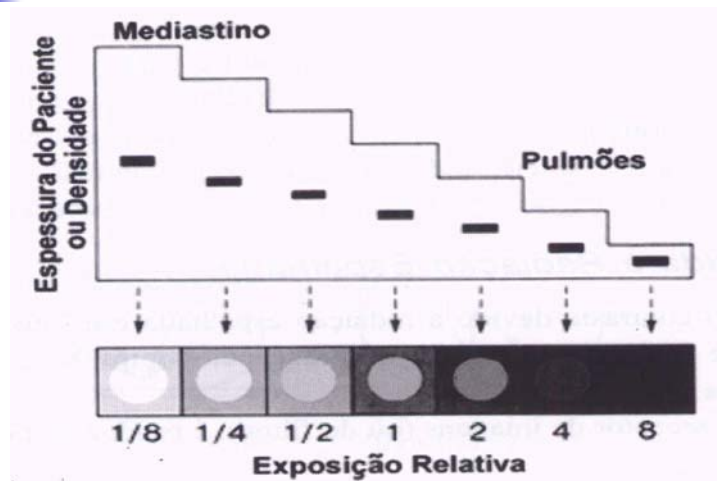
No caso de um único objeto envolto por um só tipo de tecido, um **aumento no contraste** geralmente aumenta a visibilidade do objeto. Entretanto, em muitas aplicações clínicas, as imagens contêm várias estruturas anatômicas ou objetos.

Surge um problema quando objetos diferentes estão localizados em áreas diferentes do corpo e, além disso, quando a espessura ou densidade destas áreas é muito diferente.

Prof. Alwin Elbern, Ph.D. - DENUC UFRGS

17

Condições que produzem Contraste



Prof. Alwin Elbern, Ph.D. - DENUC UFRGS

18



Diferença entre densidades

Devido à grande diferença nas densidades entre áreas dos tecidos do pulmão e do mediastino, o contraste entre as áreas correspondentes na imagem é muito grande.

Em uma radiografia típica, a área da imagem que corresponde ao mediastino aparece muito clara (ou baixa densidade), e a área do pulmão, muito mais escura.

Qualquer objeto dentro do mediastino tem sua imagem formada em um fundo clara, e qualquer objeto dentro da área do pulmão, tem sua imagem formada em um fundo escuro.



Filme Radiográfico

A capacidade de um filme radiográfico de representar o contraste do objeto é menor em áreas da imagem que são ou claras demais (mediastino) ou muito escuras (pulmão). Se há um contraste muito alto entre áreas dentro de uma imagem, então o contraste dos objetos que aparecem nessas áreas pode ser comprometido devido à limitações do filme.

Três atitudes podem ser tomadas para minimizar esses efeitos:

a) utilizar-se filmes de latitudes diferentes nessas áreas de interesse;

Atitudes para minimizar efeitos do Contraste

- b) colocar-se filtros de diferentes espessuras entre o tubo de raios X e o paciente; e
- c) aumentar-se o **kV** (obviamente, acompanhado de redução no mA).

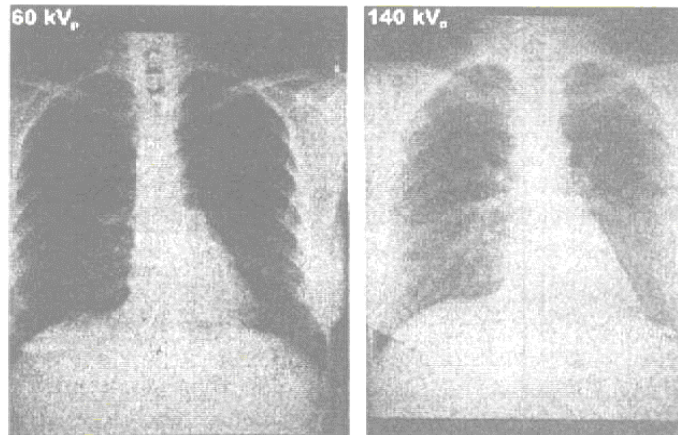
Como os dois primeiros itens requerem a modificação dos equipamentos, **o mais comum é ajustar-se o kV.**

A figura seguinte compara radiografias de tórax feitas com valores de kV_p diferentes e com ajustes de mAs devidamente compensados.

Prof. Alwin Elbern, Ph.D. - DENUC UFRGS

21

Radiografias de Tórax



Apesar do alto contraste entre o mediastino e pulmão, a visibilidade de estrutura dentro dessas áreas é pequena.

A radiografia de **140 kV** tem um contraste menor entre essas áreas, e apresenta um contraste maior, especialmente dentro da área do pulmão.

Prof. Alwin Elbern, Ph.D. - DENUC UFRGS

22



Grades e Controle da Radiação Espalhada

Quando um feixe de raios X penetra no corpo de um paciente, uma grande parte dos fótons, ao invés de ser prontamente absorvida no paciente (por meio do efeito fotoelétrico) é desviada (por meio do efeito Compton) e dirigem-se para fora do corpo produzindo a **radiação espalhada**.

Infelizmente, parte desta radiação espalhada deixará o corpo na mesma direção que a do feixe de raios X primário, ou seja, em direção ao filme radiográfico, o que acarreta uma exposição extra no receptor de imagens.



Efeito da Radiação Espalhada

A radiação espalhada **reduz o contraste** de imagem. A maior parte da radiação que deixa o corpo do paciente é devida à radiação espalhada, o que em muitos procedimentos pode reduzir significativamente o contraste.

O contraste virtual foi previamente definido como diferenças entre exposição na saída do corpo entre as áreas referentes ao objeto e aos tecido de fundo, antes de atingir o filme radiográfico, e expresso em valores percentuais.

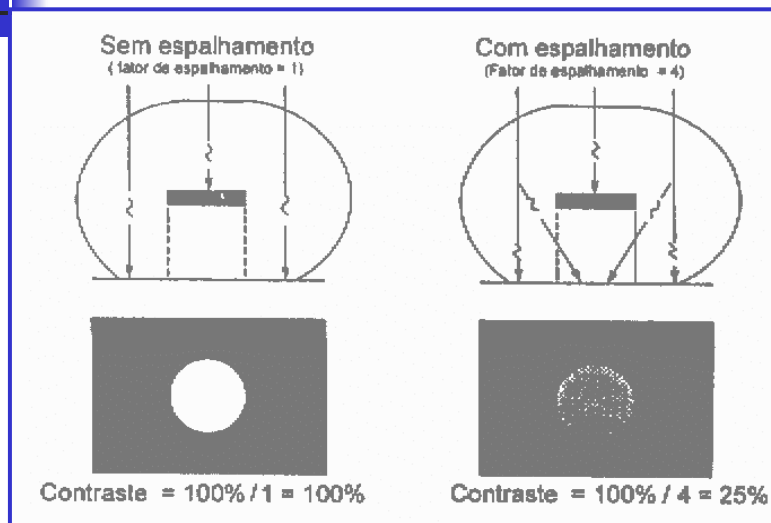
Redução do Contraste Devida à Radiação Espalhada

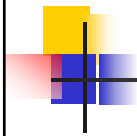
O conceito básico da redução do contraste devido à radiação espalhada está na figura seguinte.

Por questão de simplicidade, assumi-se que o objeto não é penetrado pelos raios X e, se não fosse a radiação espalhada, o **contraste virtual** seria de **100%**.

A exposição da área de fundo do receptor de imagens (ou do filme), é produzida pela direção que penetra no objeto somada à radiação espalhada.

Redução do Contraste devido a Radiação Espalhada

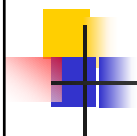




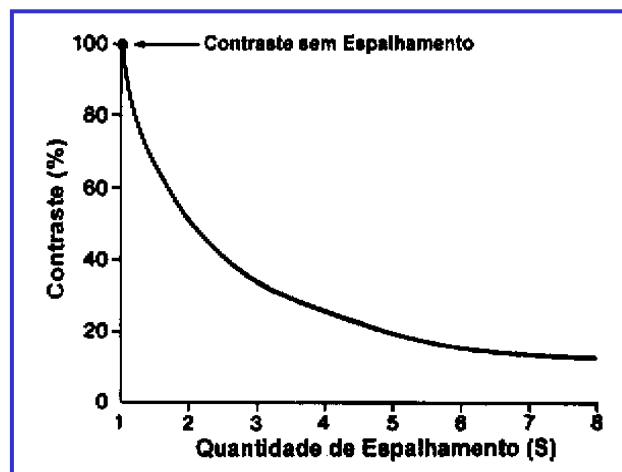
Redução do Contraste

O contraste C_s é inversamente proporcional ao valor do fator de espalhamento que pode ser obtido através de $C_s = 100 / S$, onde S é o fator de espalhamento que é proporcional à espessura do corpo do paciente.

Fatores de espalhamento (S) em exames de corpos muito espessos podem atingir os valores 5 ou 6.



Redução do Contraste e a Radiação Espalhada



Colimação

A quantidade de radiação espalhada é proporcional à massa total do tecido abrangido pelo feixe de raios X primário, ou seja, é determinada pela espessura do paciente, e pela área ou tamanho de campo que está sendo exposta.

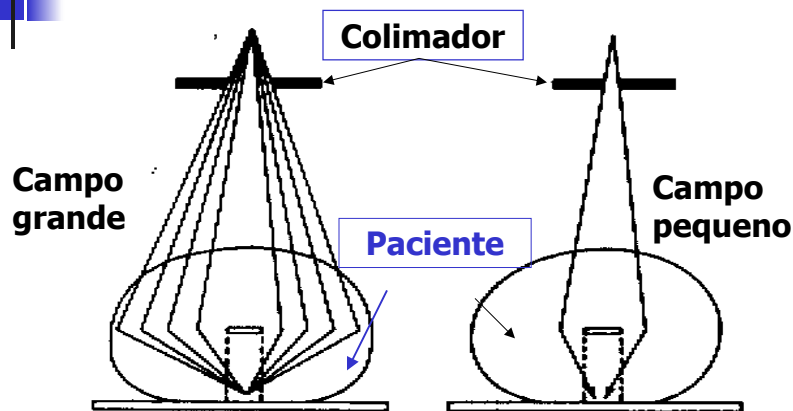
Aumentando o tamanho de campo, aumenta-se a quantidade de radiação espalhada e, por isso, o valor dos fatores de contraste relacionados ao espalhamento.

Uma maneira de se reduzir a radiação espalhada e aumentar o contraste, é diminuir o tamanho de campo com colimadores de feixe de raios X, cones ou outros dispositivos limitadores de campo.

Prof. Alwin Elbern, Ph.D. - DENUC UFRGS

29

Aumento do Contraste por diminuição do tamanho do campo dos RX



Em muitas situações, o contraste pode ser melhorado pela redução do tamanho de campo ao menor valor possível.

Prof. Alwin Elbern, Ph.D. - DENUC UFRGS

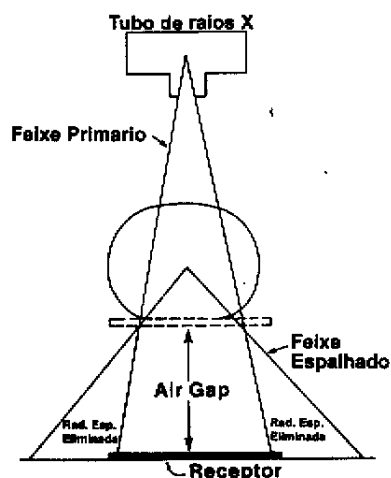
30

Técnica "air-gap"

A qualidade de radiação espalhada em qualquer feixe de raios X que atinge um receptor pode ser reduzida aumentando a distância entre o paciente e a superfície do receptor de imagens

Esta separação é conhecida como técnica de "air-gap". A radiação espalhada que deixa o corpo do paciente é mais divergente que o feixe de raios X primário. A quantidade de radiação espalhada que atinge o receptor, em relação ao feixe primário, diminui com o aumento da distância paciente-receptor.

Aumento do contraste pela técnica "air-gap"



Antes de se optar pela técnica de "air gap", alguns fatores devem ser considerados.

Esta técnica produz ampliação da imagem o que torna necessário um receptor de imagens maior para cobrir toda a área do paciente.

GRADES

Em muitos exames, a maneira mais prática e eficaz de reduzir a radiação espalhada é através do uso de grades.

A grade é colocada entre o corpo do paciente e o receptor como mostrado na figura. A grade é feita de tiras de materiais bons absorvedores de raios X, como chumbo.

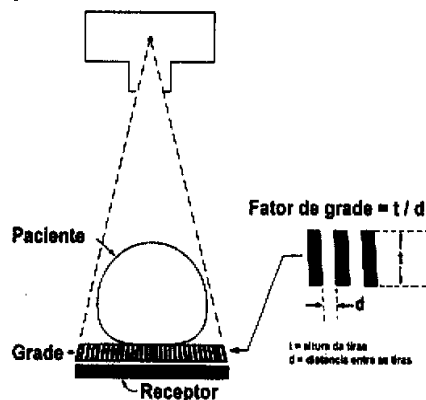
Na maioria das grades, as tiras são anguladas e alinhadas com o feixe de raios X, e por isso são chamadas de grades focadas.

Os espaços entre as tiras são preenchidos com materiais não absorvedores de raios X, tais como fibra, carbono ou alumínio, com a finalidade de dar suporte estrutural à grade.

Prof. Alwin Elbern, Ph.D. - DENUC UFRGS

33

Uso de Grades



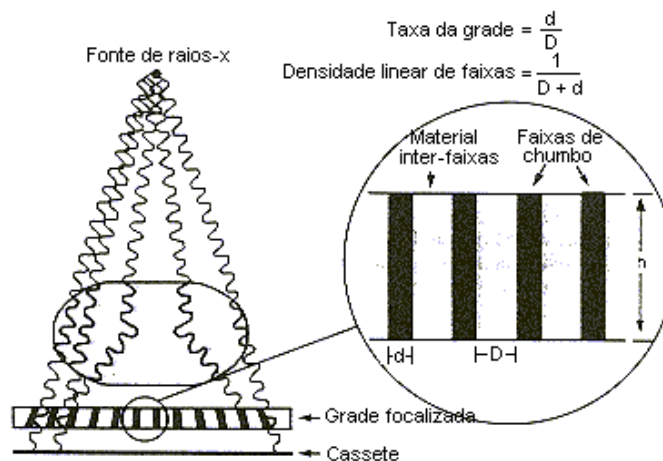
É conveniente que o ponto focal da grade coincida com o ponto focal do tubo de raios X, que é a fonte de radiação primária

Pelo fato do feixe de raios X estar alinhado com a grade, grande parte da radiação primária passa por entre as tiras de chumbo sem interagir com elas.

Prof. Alwin Elbern, Ph.D. - DENUC UFRGS

34

Taxa da Grade



Prof. Alwin Elbern, Ph.D. - DENUC UFRGS

35

Grade ideal

Uma grade ideal deveria absorver toda a radiação espalhada e permitir que os raios X primários atingissem o receptor.

Infelizmente não existe grade ideal, pois todos os tipos de grades absorvem uma pequena parcela da radiação primária assim como deixam passar alguma radiação espalhada.

A penetração da radiação espalhada na grade é determinada, principalmente, pelas dimensões das tiras de chumbo e dos interespaços. A altura das tiras de chumbo (t) é, em geral, igual à espessura da chapa variando de **2 a 5 mm.**

A largura do espaço entre duas tiras pe denotada por d , e, em geral, têm valores na faixa de **0,25 a 0,40 mm.**

Prof. Alwin Elbern, Ph.D. - DENUC UFRGS

36



Grades - Propriedades

- A razão da grade é definida como a razão entre espessura da barra (h) ao longo da direção do feixe e a distância (D) entre as barras de chumbo (h/D). Varia de 4 a 16.
- A densidade de linhas é $1/(D+d)$ linhas por unidade de comprimento, onde d é a espessura da barra. Varia de 25 a 60 linhas por centímetro.
- **Grades focalizadas tem barras divergentes e precisam ser utilizadas a distâncias focais específicas.**
- As grades movem-se durante a exposição, espalhando a imagem das linhas sobre o filme e fazendo-as portanto "invisíveis".

Prof. Alwin Elbern, Ph.D. - DENUC UFRGS

37



Característica das Grades

- Grades estacionárias com baixas razões (6:1) e 45 linhas/cm são utilizadas em raios-x portáteis pois toleram melhor desalinhamentos do feixe.
- Grades são usualmente utilizadas para partes do corpo com mais de 12 cm de espessura e técnicas acima de 70 kVp.
- Grades **não são geralmente utilizadas** para radiografias das extremidades nas quais o espalhamento é desprezível.

Geração de artefatos característica comuns das grades utilizadas em radiologia

Prof. Alwin Elbern, Ph.D. - DENUC UFRGS

38



Performance de uma Grade

Embora as grades que tem fatores de grade elevados absorvam muita radiação espalhada, elas tendem a aumentar a necessidade de exposição do paciente, a carga no tubo de raios X e também requerem um posicionamento mais preciso.



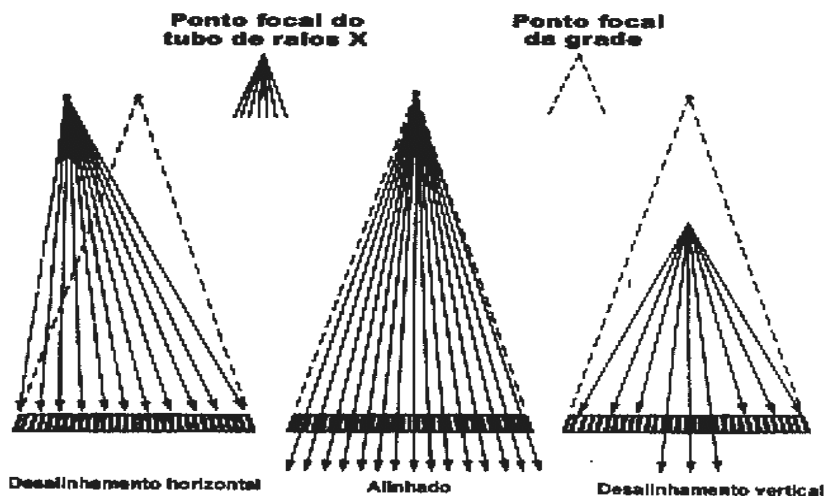
Imagens com Grades

Nas imagens geradas com uso de grades, podem aparecer linhas devido as tiras do material absorvedor, sempre interpostas entre o paciente e o filme.

Para evitar que as linhas não apareçam na radiografia, criou-se um mecanismo que movimenta a grade durante a exposição, borrando a imagem das linhas.

Outras causas para o aparecimento de artefatos são: irregularidades no espaçamento entre as linhas, em geral, de 24 a 44 linhas por centímetro ou desalinhamentos (vertical ou horizontal) entre os focos do feixe de raios X e da grade. *Deve-se tomar cuidado com a situação, menos provável mas possível, de uso de grades em posição invertida.*

Fatores que contribuem para o aparecimento de artefatos (linhas) na imagem



Prof. Alwin Elbern, Ph.D. - DENUC UFRGS

41

Uso das Grades

Razão da Grade	Aumento do mAs (relativo a sem grade)	Raios-x transmitidos a 80 kVp	
		Espalhada	Primária
5:1	X 2	~18%	~75%
6:1	X 3	~14%	~72%
8:1	X 4	~10%	~70%
12:1	X 5	~5%	~68%

Grades são utilizadas para reduzir a quantidade de radiação que atinge o filme. As faixas de chumbo de um grade focalizada são projetadas para serem paralelas ao feixe incidente.

Prof. Alwin Elbern, Ph.D. - DENUC UFRGS

42