

PGF5312 – 1 FUNDAMENTOS DE PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS MÉDICAS

Aula 11 – Qualidade de imagens Parte 1

Paulo R. Costa

Grupo de Dosimetria das Radiações
e Física Médica

Instituto de Física - USP

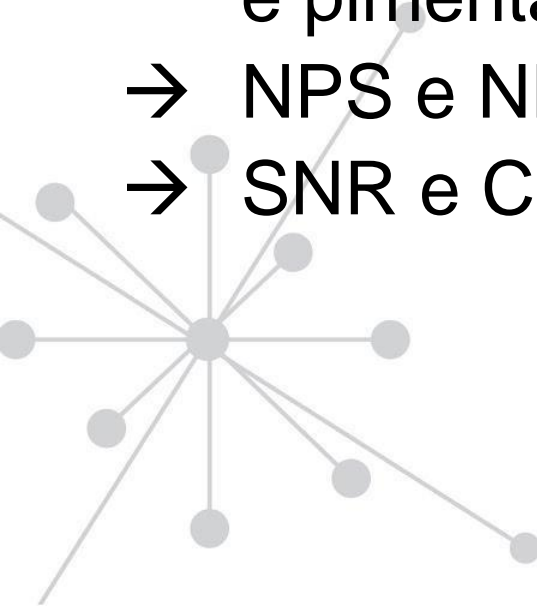


O que veremos hoje

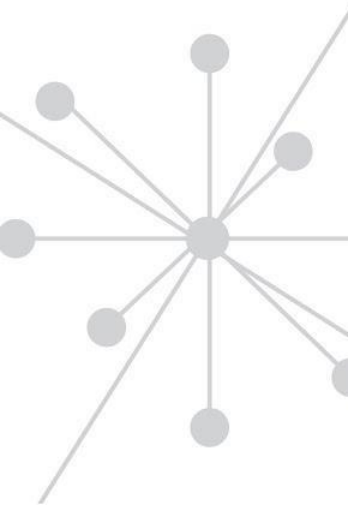
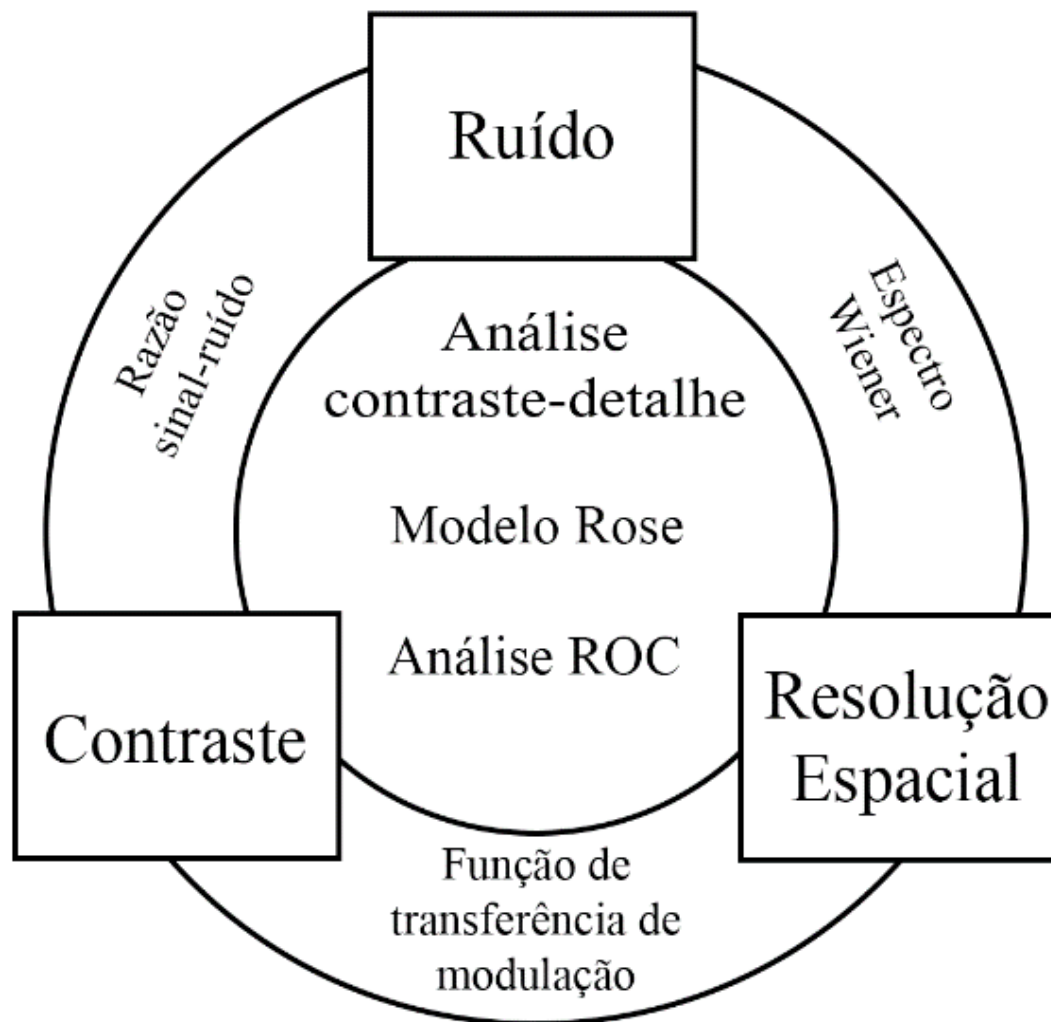
Contraste (revisando)

Ruido

- Definições
- Ruido quântico
- Outros tipos de ruído (gaussiano, *speckle*, sal e pimenta e artefatos)
- NPS e NNPS
- SNR e CNR



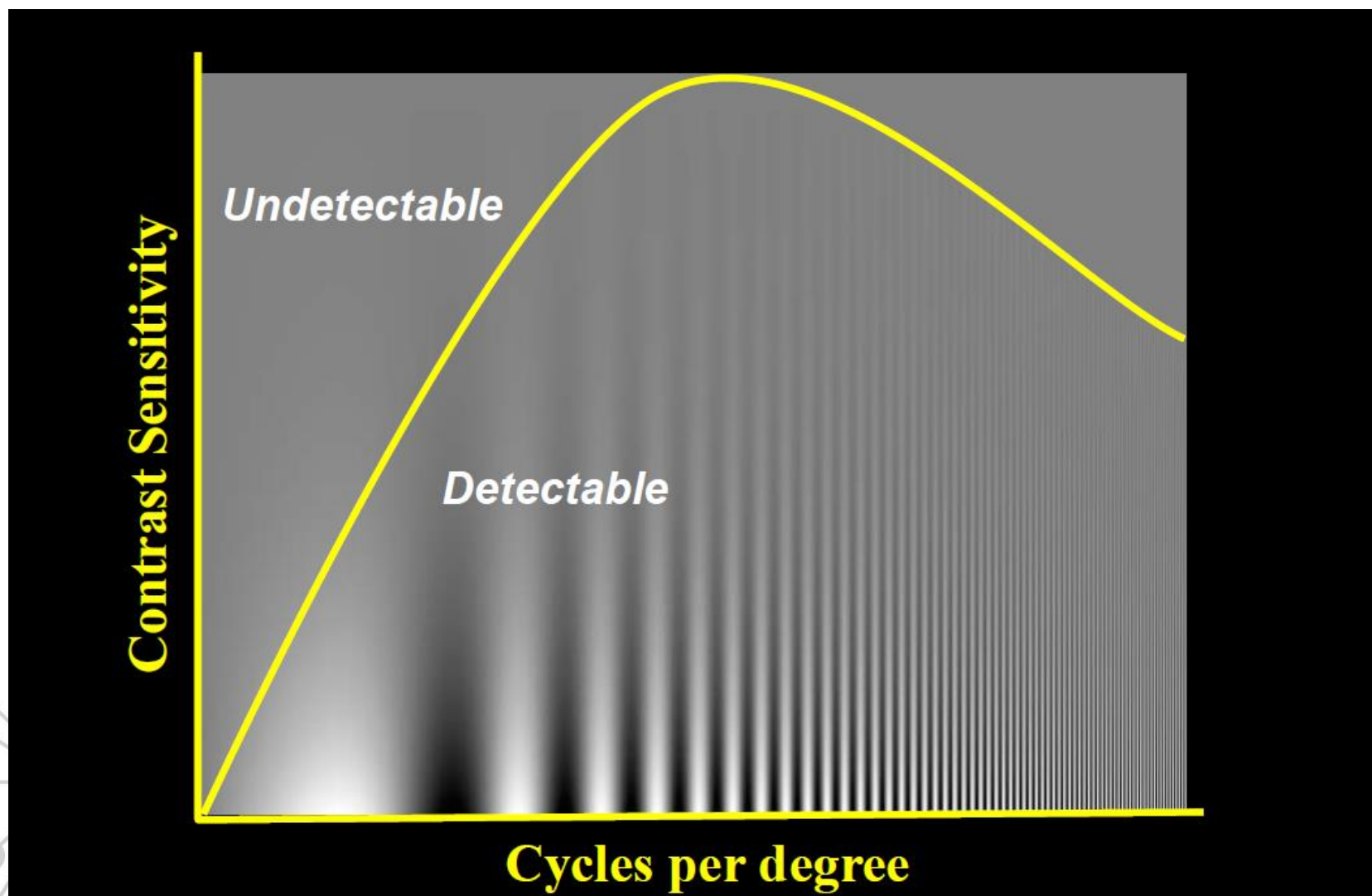
Qualidade de imagens



Qualidade da imagem

- Avaliação subjetiva
 - Típica em artes visuais
- Imagens médicas
 - Informações específicas: anatomia ou funcionalidade
 - Qualidade
 - Métodos quantitativos
 - Busca da melhor relação custo-benefício
- Fatores inter-dependentes
 - Contraste
 - Resolução espacial
 - Ruído

Contraste e frequência espacial



- O que você entende por ruído?
 - Qualquer *flutuação* na intensidade ou na cor em uma imagem que dificulta a visualização da informação que se deseja observar
 - Mas, muitas vezes, não sabemos o que supostamente deveríamos estar vendo em uma imagem (em especial nas médicas)
- Soluções
 - Repetições
 - Mais tempo de aquisição do sinal

} Ruído
estocástico
(aleatório)

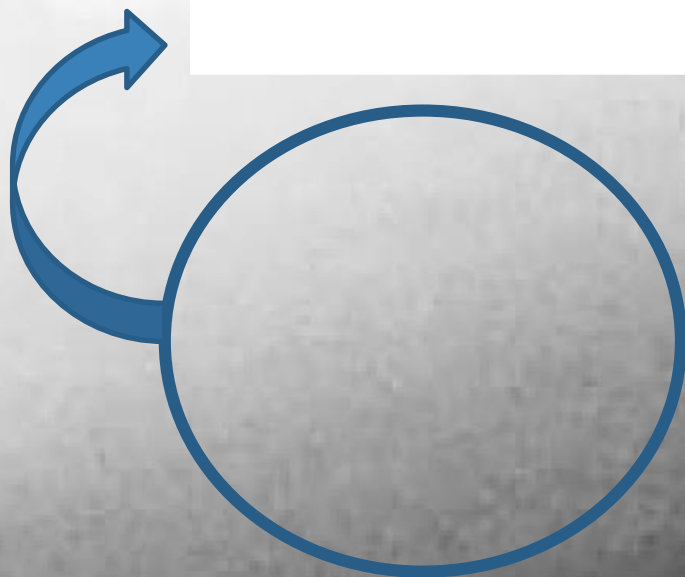
Ruído

$$P(x) = \frac{m^x}{x!} e^{-m}$$

b

Poisson

$$\text{Relative variation} = \frac{\sqrt{\mu}}{\mu} = \frac{1}{\sqrt{\mu}}$$

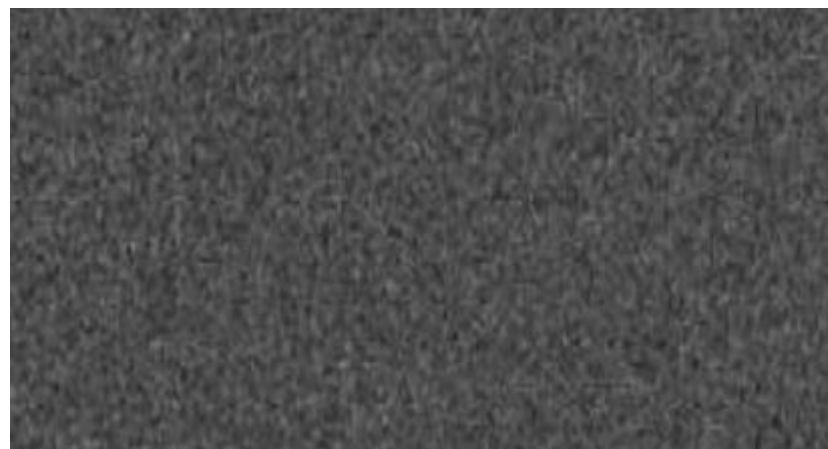


Poisson { Emissão de fótons
Detecção de fótons

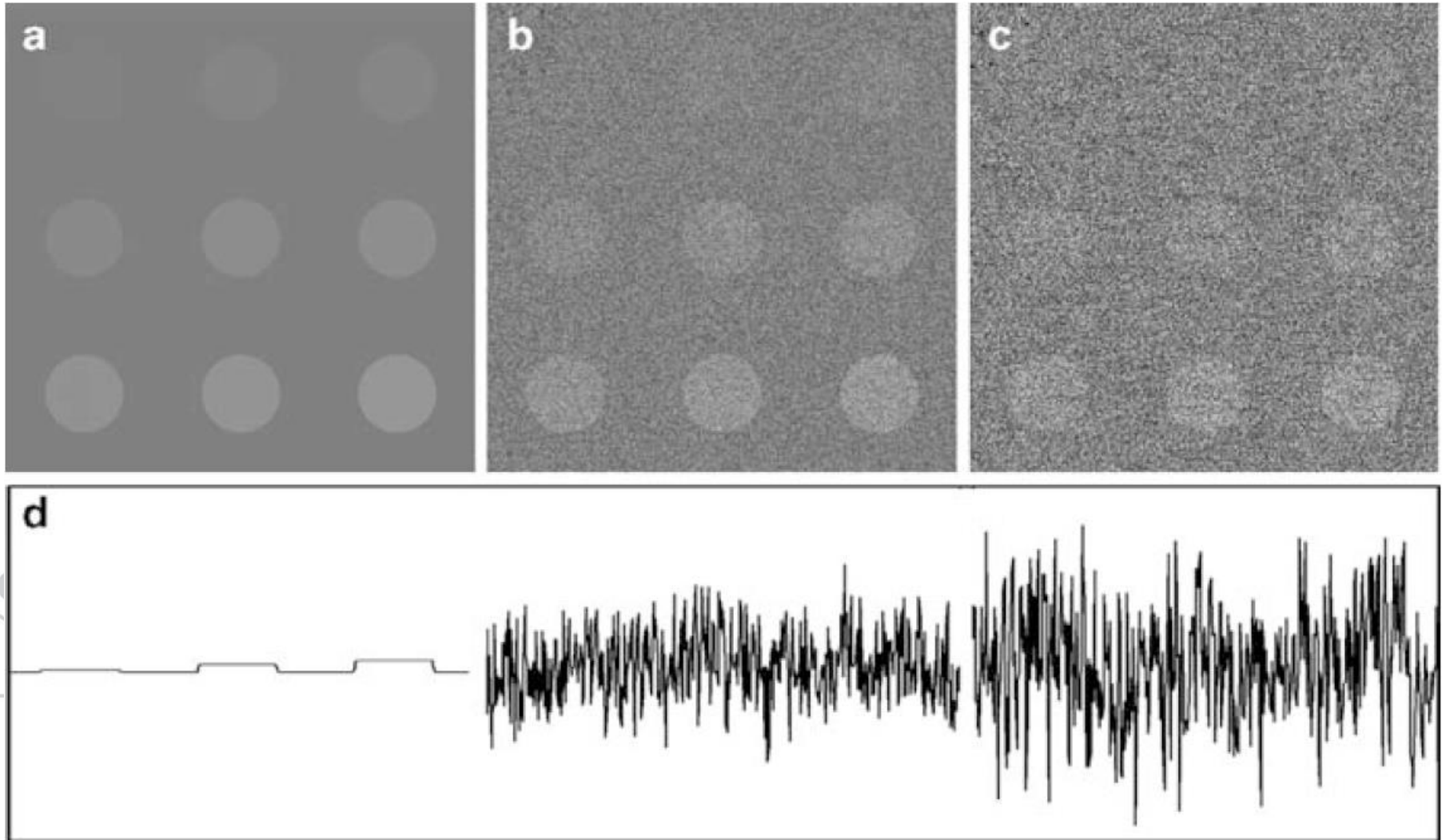
$$\eta = 1 - e^{-\mu(E)t}$$

Incerteza relativa

$$\frac{\sigma}{N} = \frac{\sqrt{N}}{N} = \frac{1}{\sqrt{N}}$$

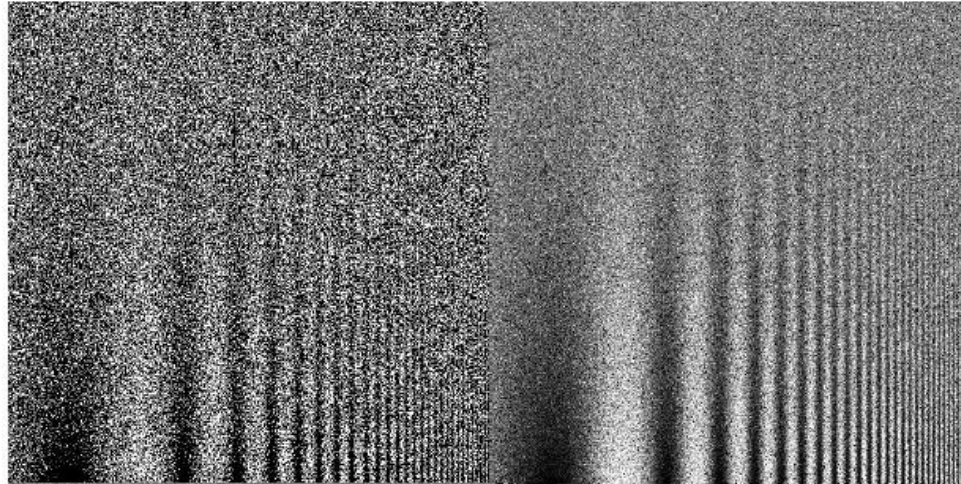


Ruído

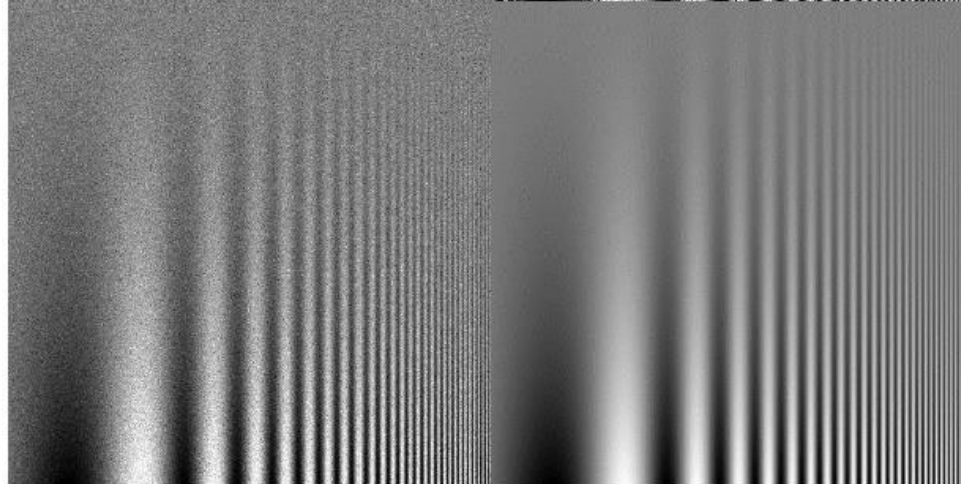


Ruído

0.4 photons/pixel

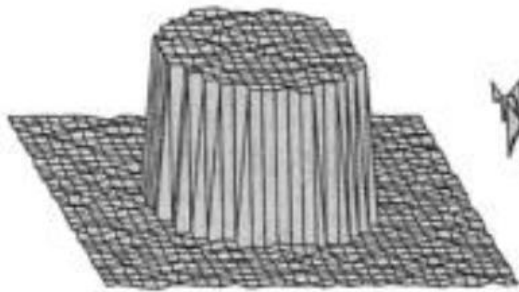


4 photons/pixel

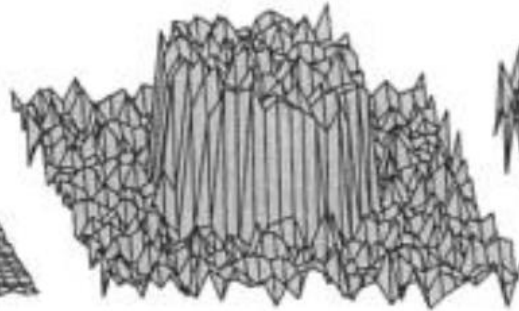


40 photons/pixel

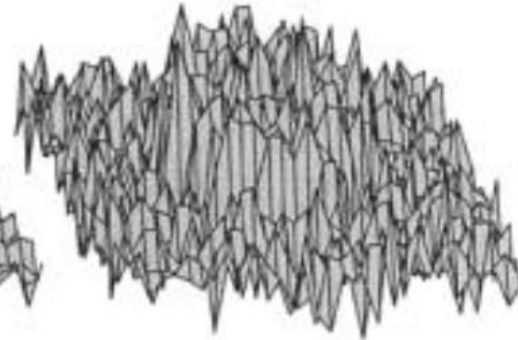
Noise



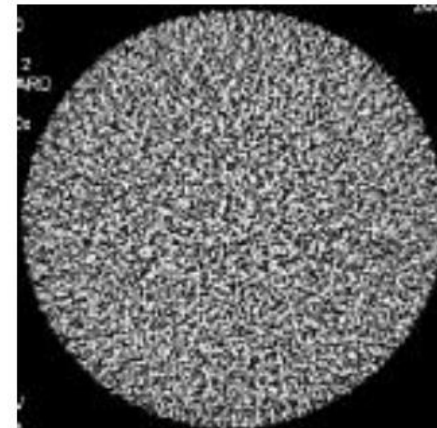
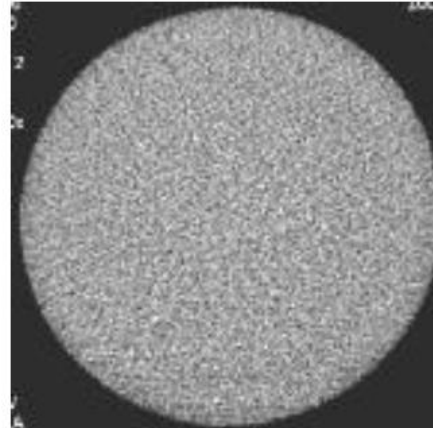
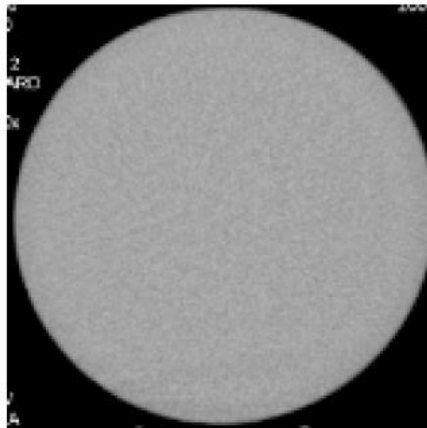
Low Noise



Medium Noise



High Noise



- Quântico

- Flutuações estatísticas da emissão e raios X
- Flutuações aleatórias na atenuação e espalhamento
- Flutuações estatísticas na detecção dos fótons

PRINCIPAL FONTE DE RUÍDO EM IMAGENS RADIOLÓGICAS

- Eletrônico

- Introduzido pelo processo de detecção
- Estocástico e aditivo
- Independente de outras fontes de ruído e do # de fótons

- Estruturado (padrão fixo)

- Superposto e estático
- Flutuações espaciais, não-uniformidades, etc.

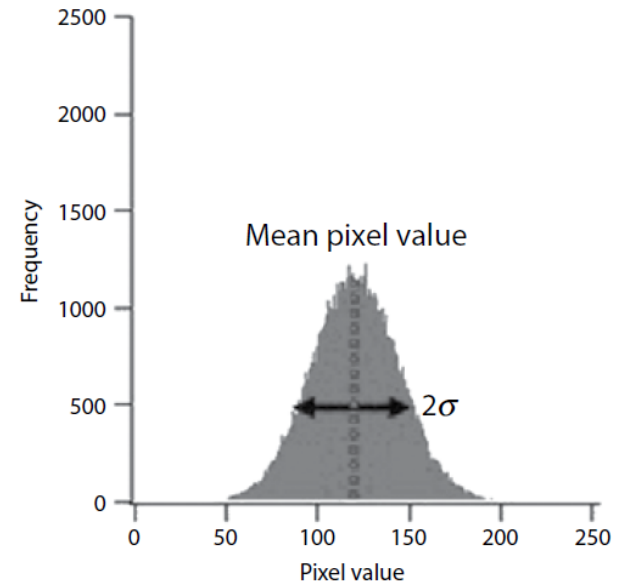
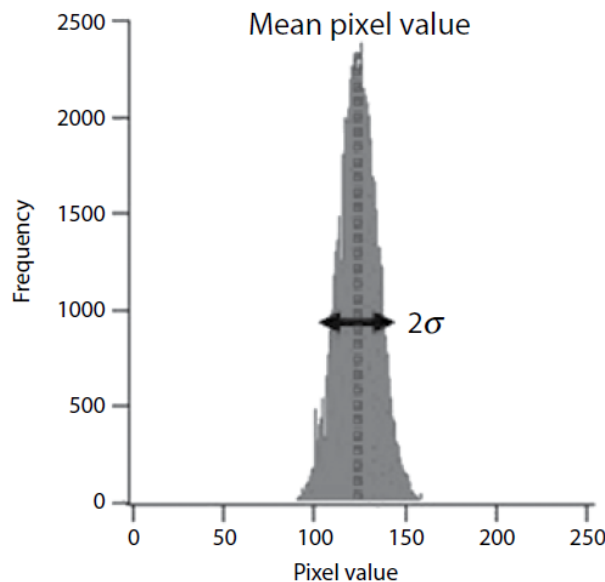
Estatística de primeira ordem: desvio padrão e variância

Valor de píxel (PV) em uma posição i : sinal d_i
Em uma ROI de N elementos

$$\bar{d} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_i$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (d_i - \bar{d})^2$$

Sp
o
Histogram of
pixel values and
standard deviation

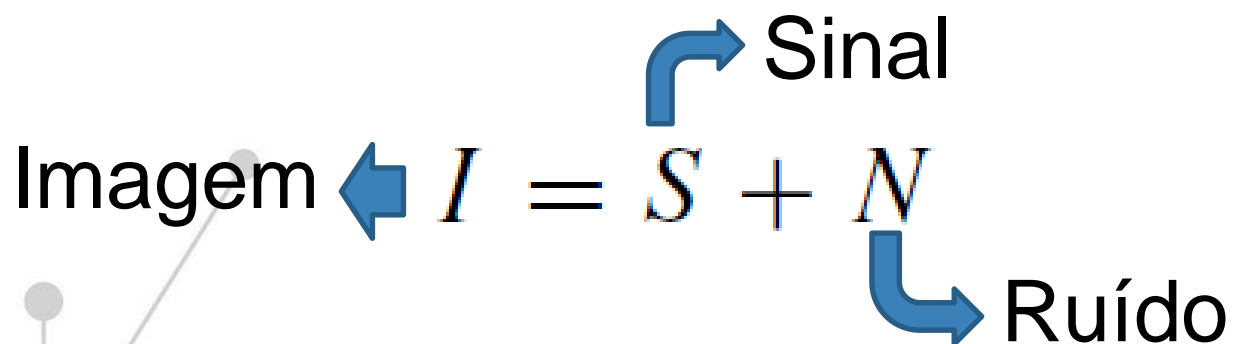


- E se o ruído não for aleatório?
 - Não diminui com a repetição ou aumento de tempo de aquisição
 - Erro sistemático de aquisição → artefato

Imagem ← $I = S + N$

Sinal

Ruído



**NORMALMENTE NÃO
SÃO SEPARÁVEIS!!**

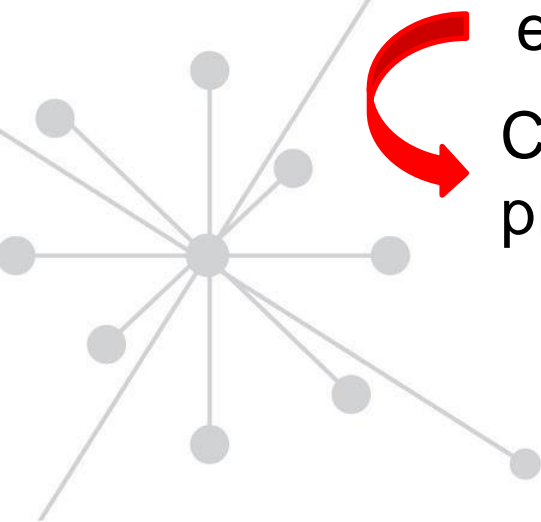
- Ruído quântico (*quantum mottle*)
- Da definição de “Ruído”

Qualquer **flutuação** na intensidade ou na cor em uma imagem que dificulta a visualização da informação que se deseja observar

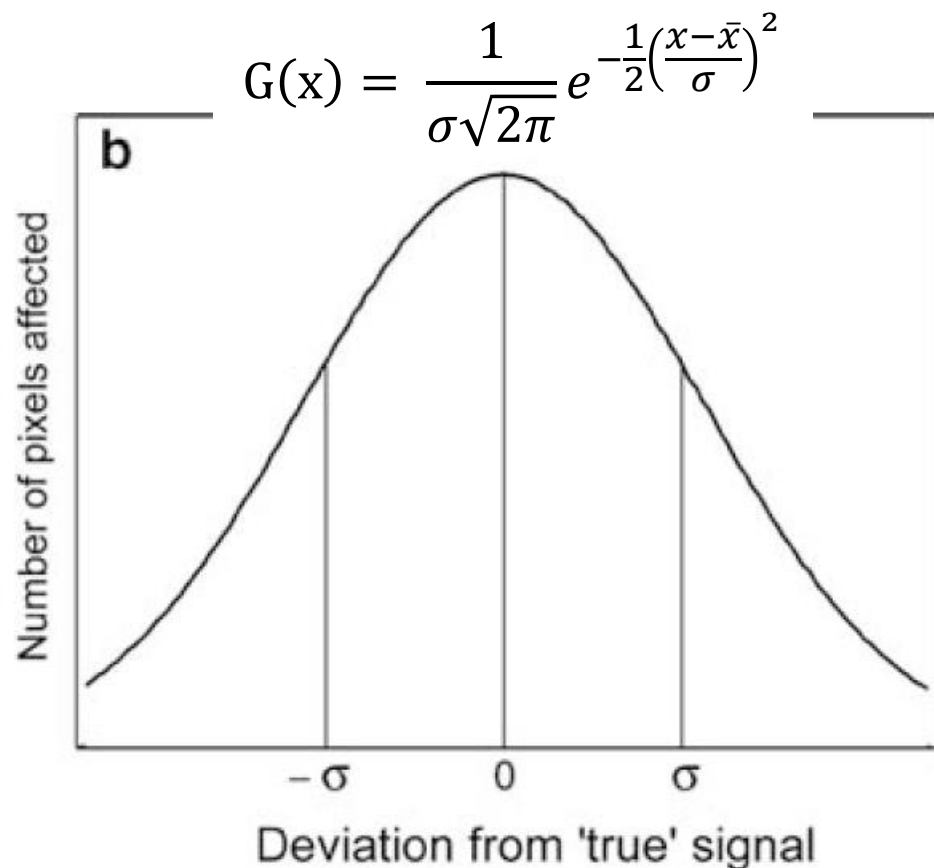
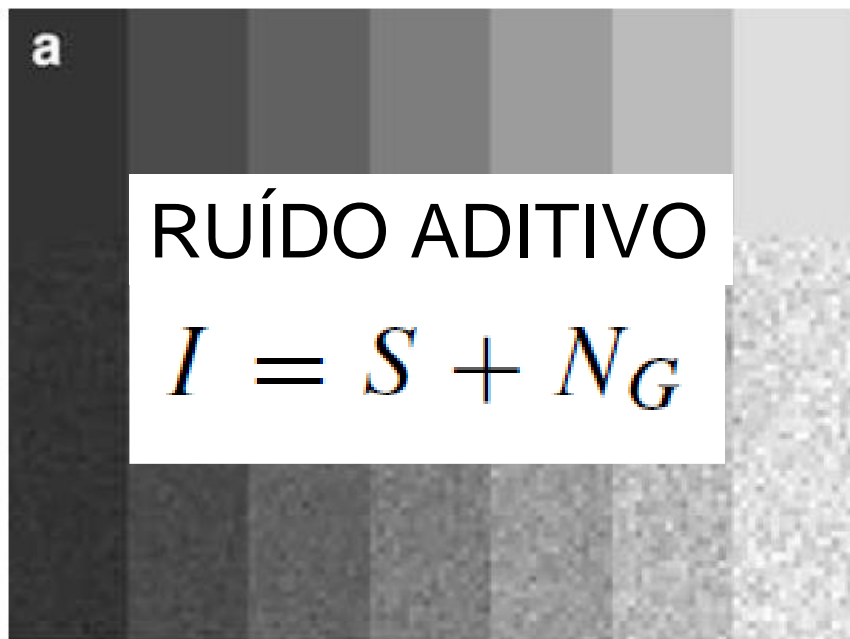
Traduções de mottle
substantivo
mancha mosqueada
mosqueado
fio de lã mosqueada
manca de várias cores
verbo
sarapintar
mosquear
pintalgar

Flutuações aleatórias no fluxo e distribuição espacial da energia proveniente da fonte

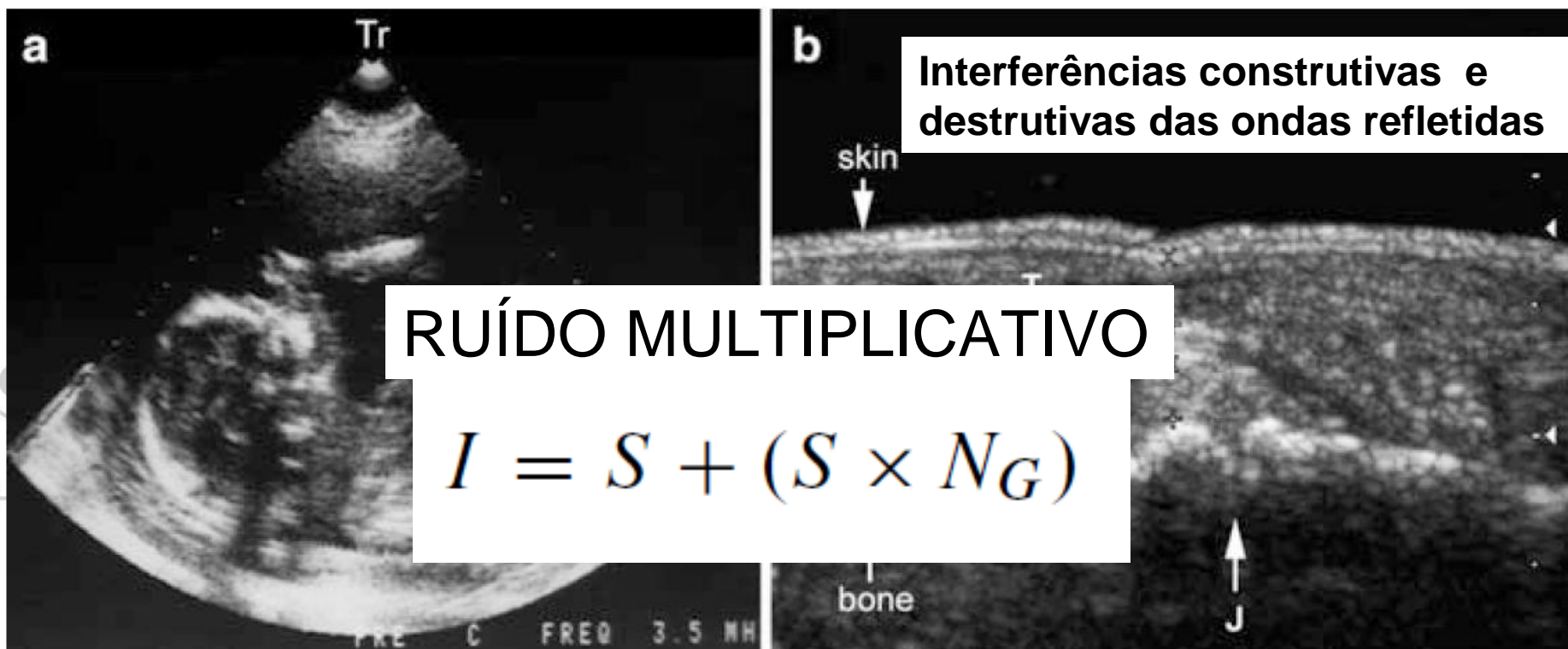
Característica intrínseca da natureza da produção e da detecção de fótons



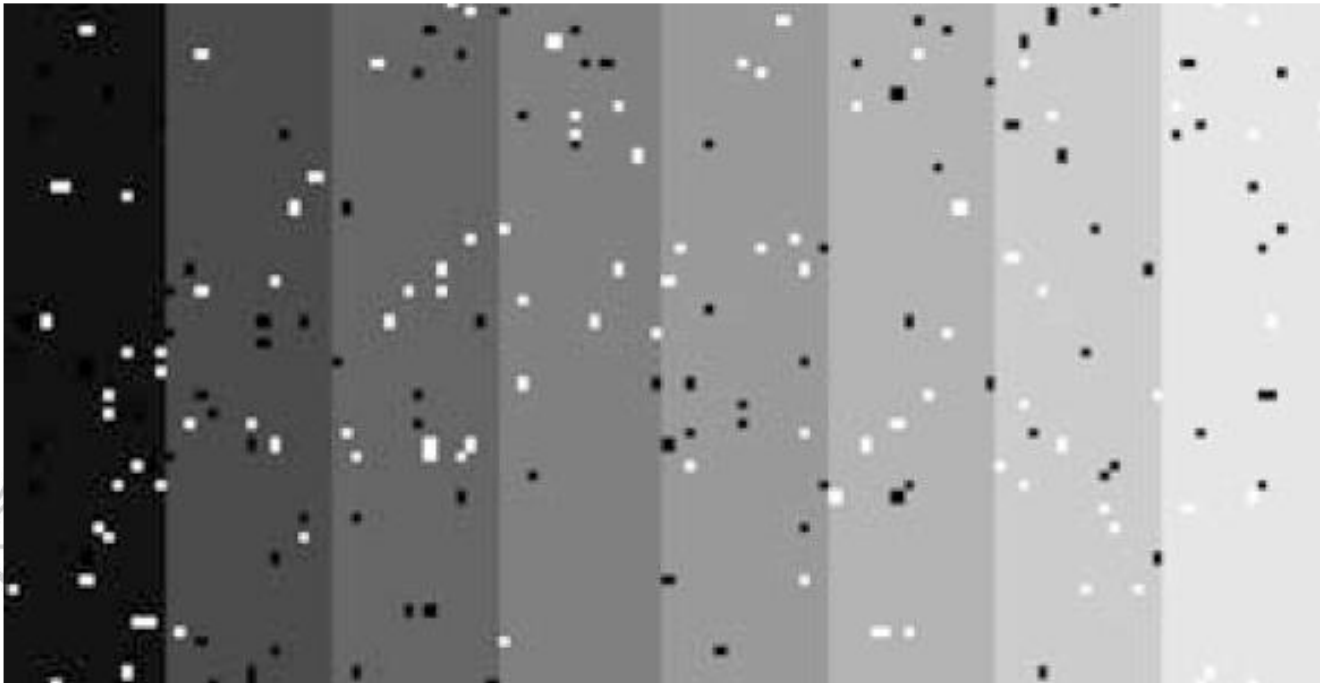
- Outras fontes de ruído
(fontes: térmico, eletrônico, amplificação, registro, etc.)
 - Gaussiano



- Outras fontes de ruído
(fontes: térmico, eletrônico, amplificação, registro, etc.)
 - *Speckle*



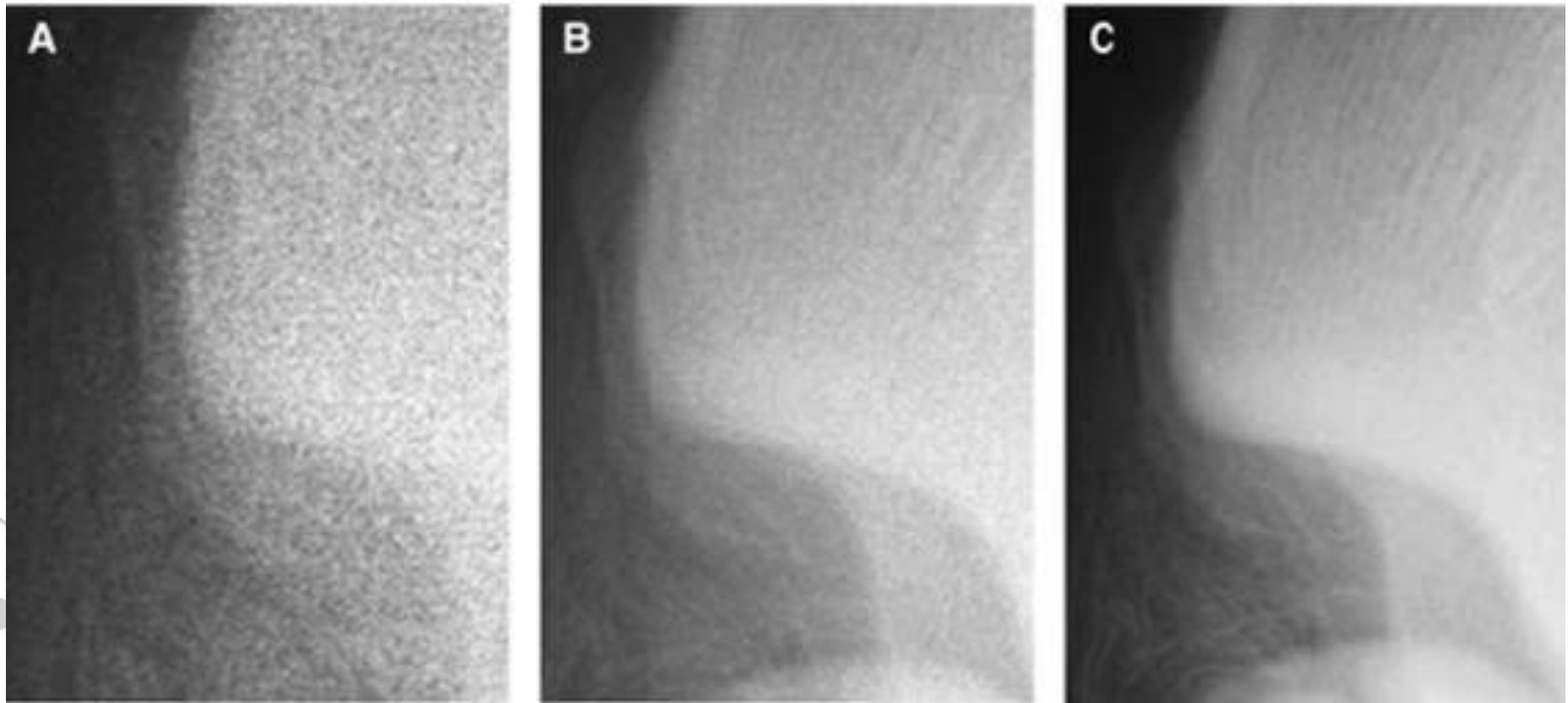
- Outras fontes de ruído
(fontes: térmico, eletrônico, amplificação, registro, etc.)
 - Sal e pimenta



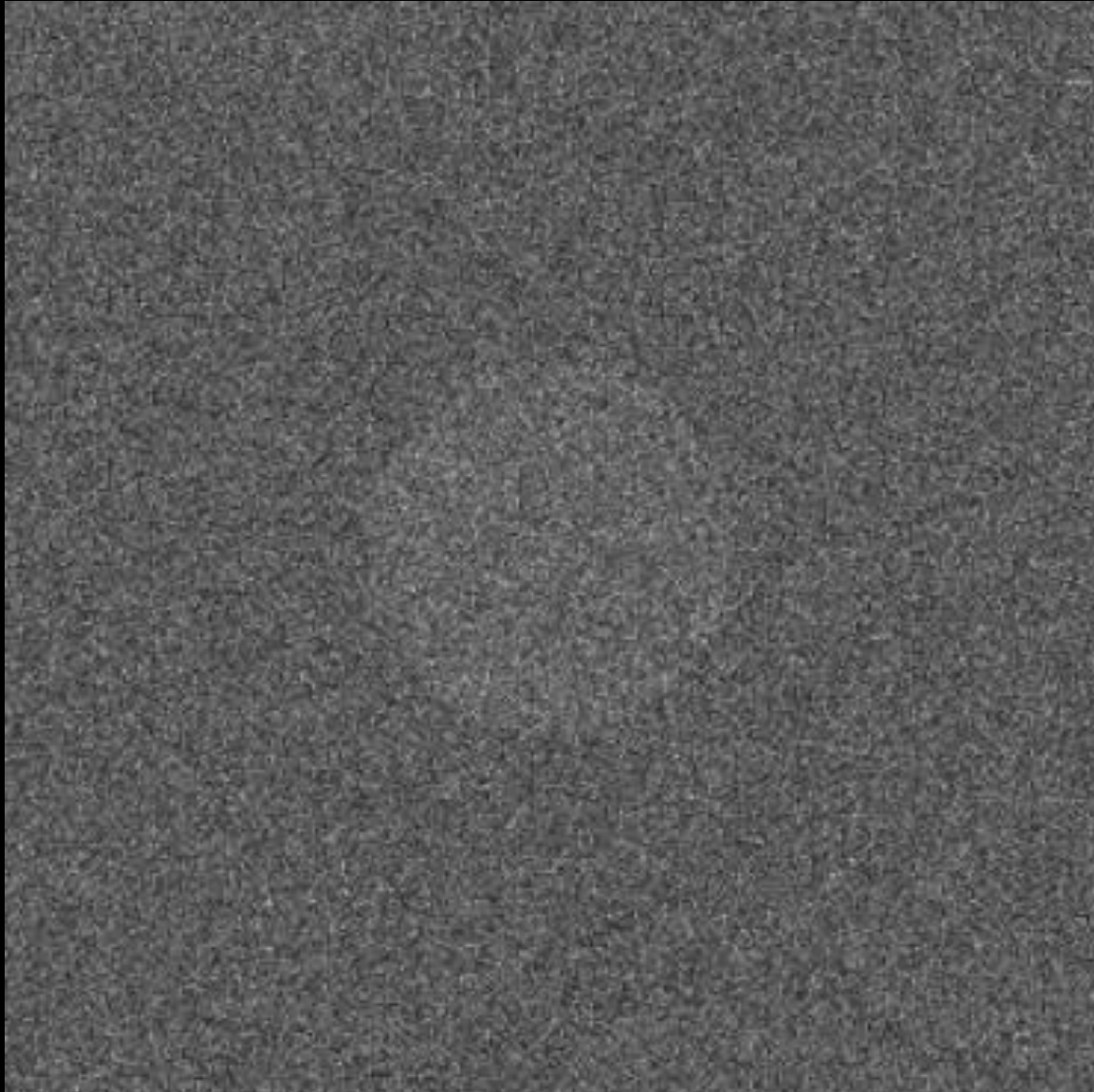
- Outras fontes de ruído
(fontes: térmico, eletrônico, amplificação, registro, etc.)
 - Artefatos (muitos tipos!!!)



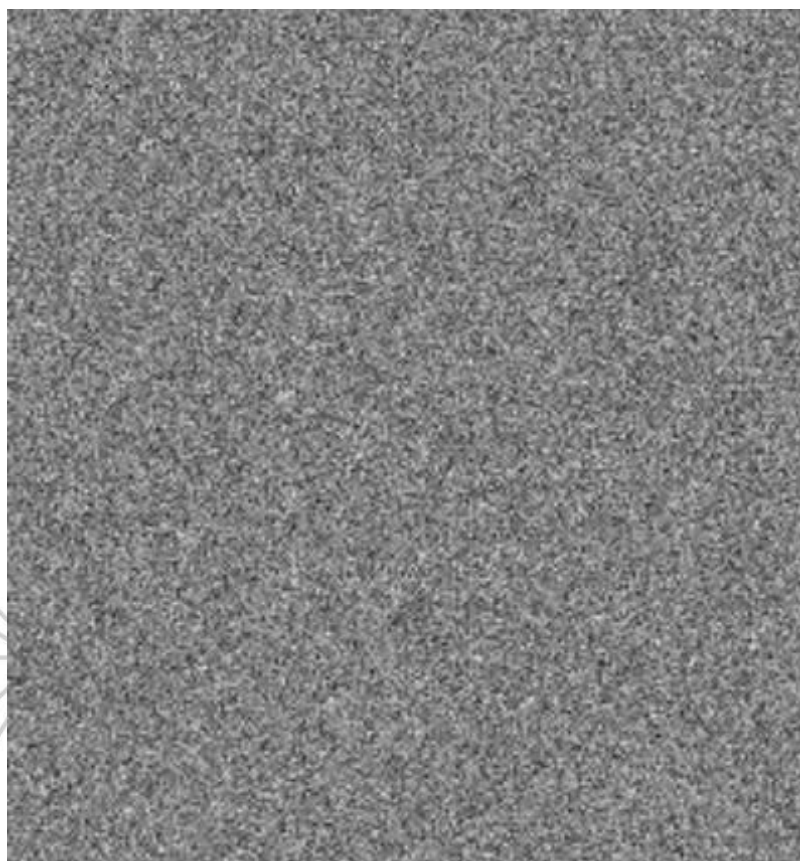
Quantum mottle



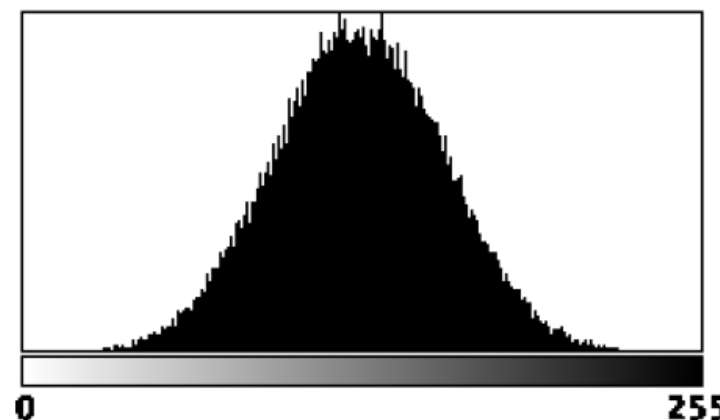
Ruído



Ruído Branco ou não-correlacionado



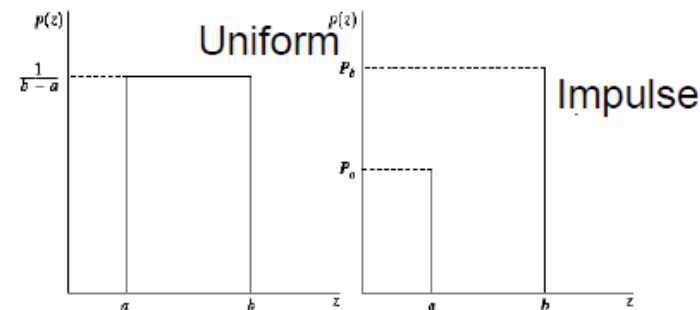
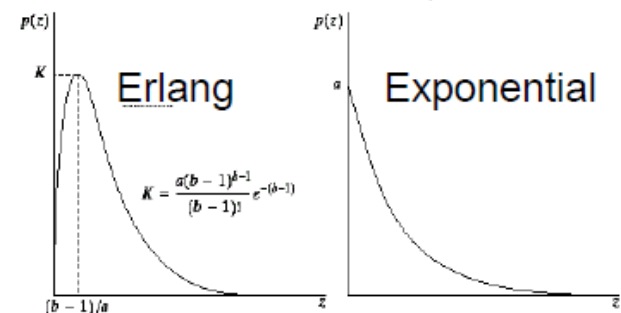
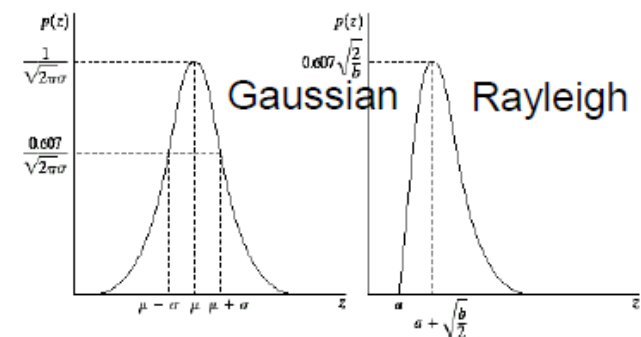
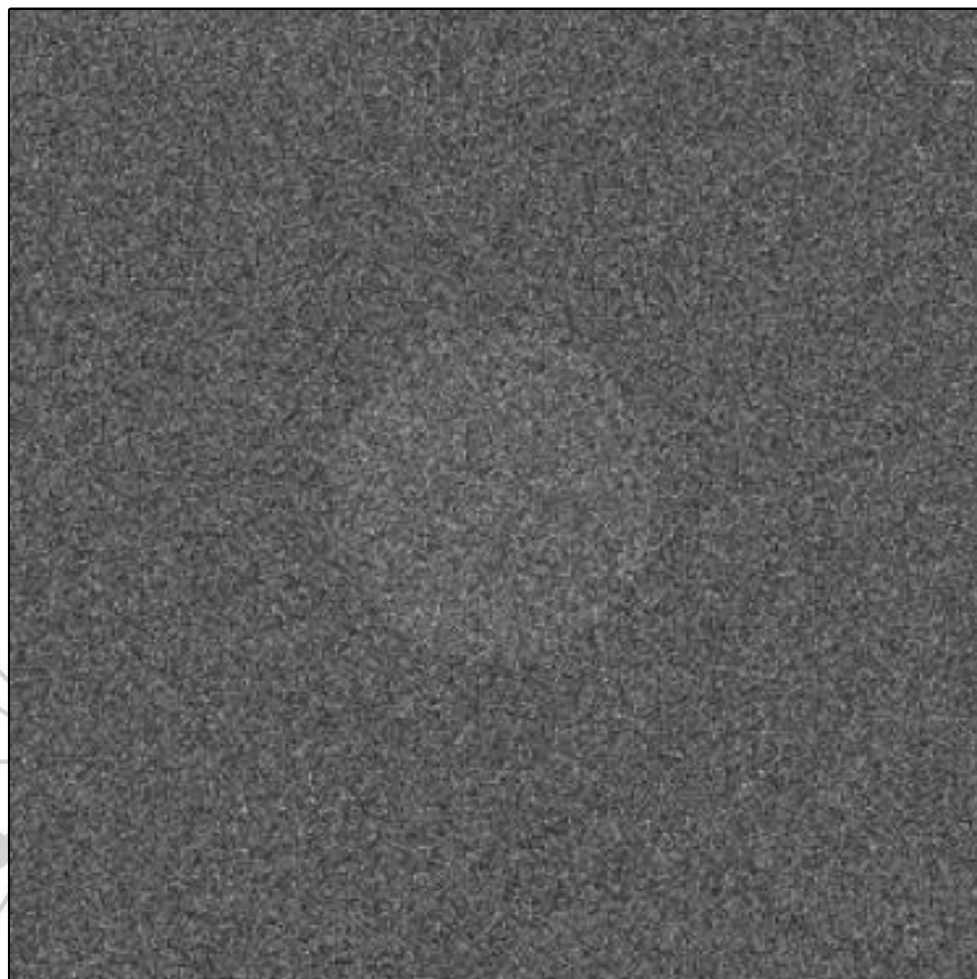
Independente da
frequência espacial



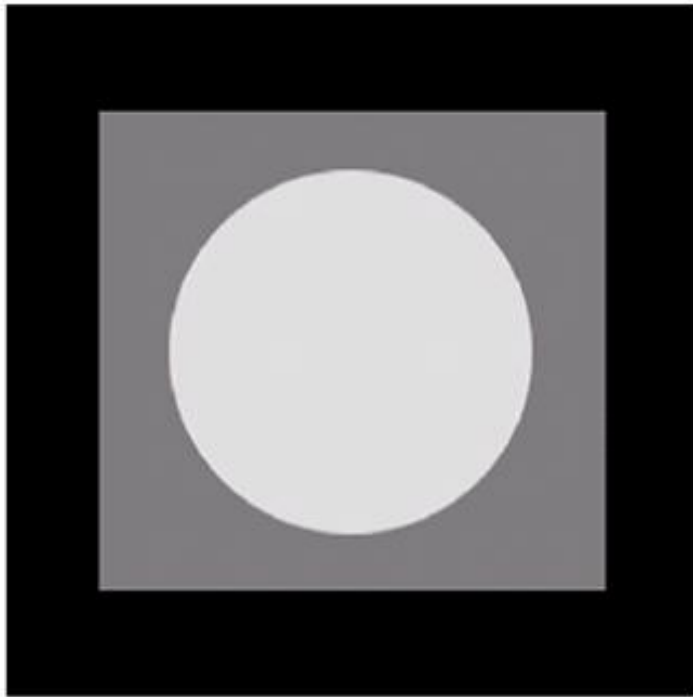
Count: 60214
Mean: 126.399
StdDev: 32.082

Min: 1
Max: 254
Mode: 119 (773)

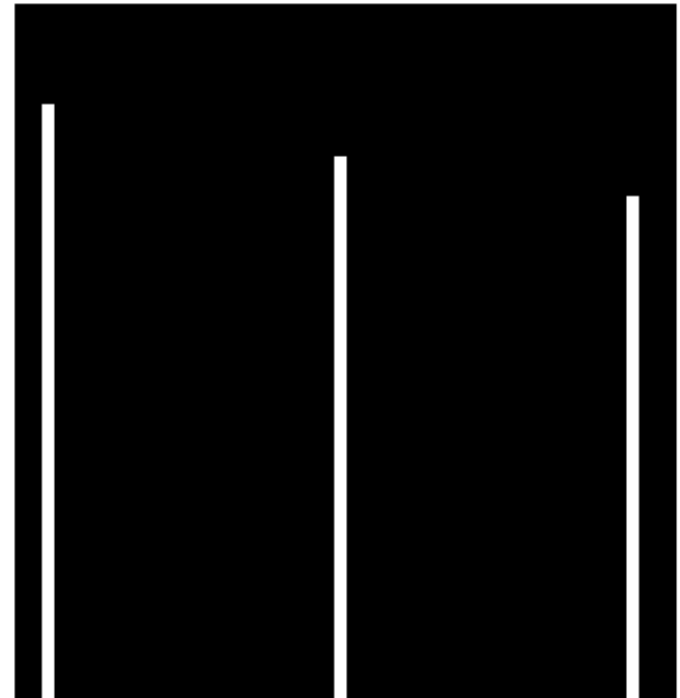
$$g(x, y) = f(x, y) + \eta(x, y)$$

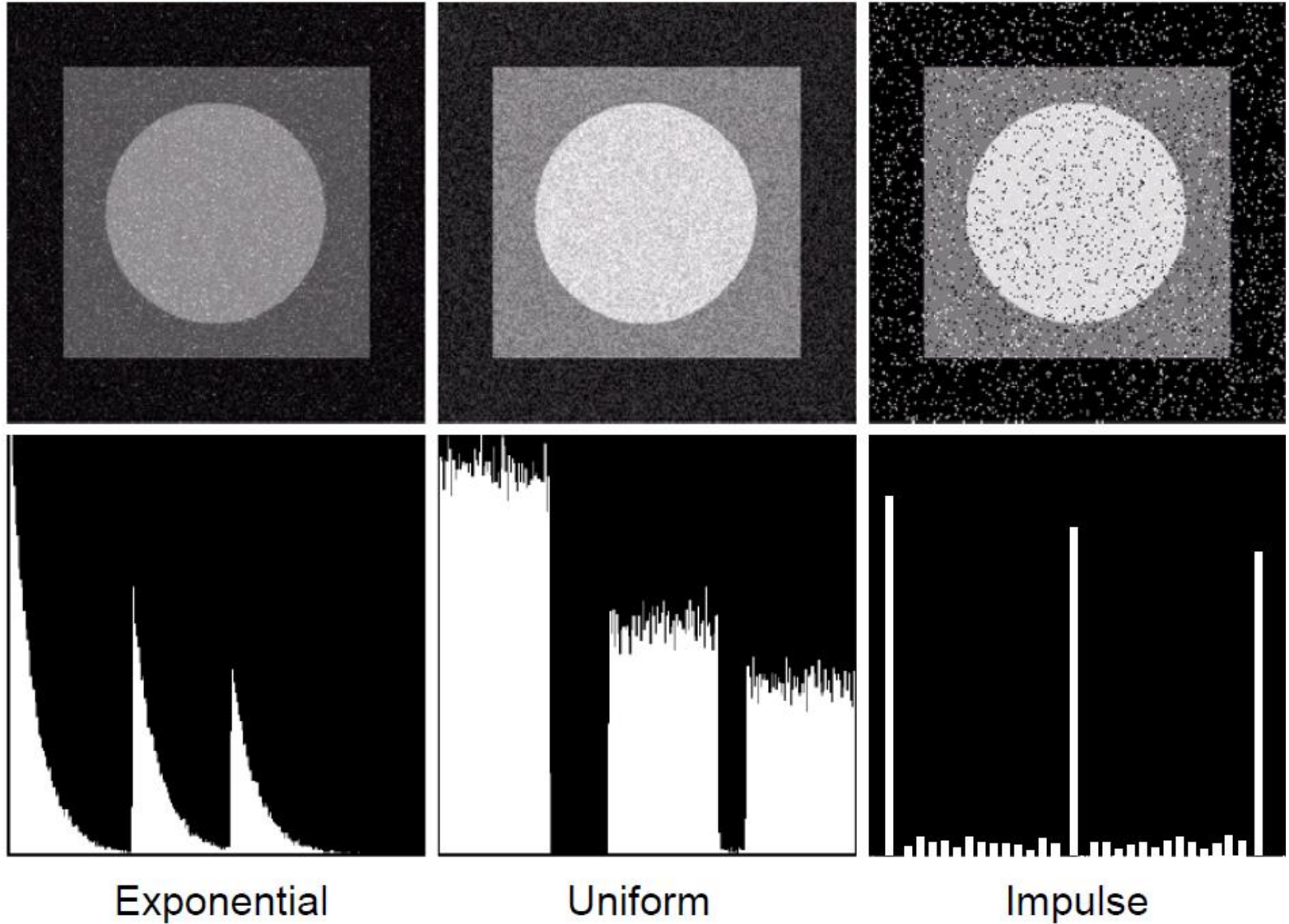


imagem



histograma





Auto-covariância e o NPS

- A estatística de primeira ordem negligencia as características espaciais do ruído estruturado (textura)
- Na prática, há correlações espaciais entre ruídos em diferentes regiões do detector
- Quantificado utilizando estatística de segunda ordem → função de auto-covariância

$$\text{cov}(k) = \frac{1}{N - k - 1} \sum_{i=1}^{N-k} (d_i - \bar{d})(d_{i+k} - \bar{d})$$

- Sem correlações espaciais $\text{cov}(k) = 0$

Auto-covariância e o NPS

- No domínio de frequências
 - *Noise power spectrum* (NPS) = Espectro de Wiener
 - Teorema de Wiener-Khinchin → NPS = TF[auto-covariância]
 - Calculado em uma ROI $N_x \times N_y$

$$\text{NPS}(f_x, f_y) = \frac{\Delta x \Delta y}{N_x N_y} \left\langle \left| \iint (d(x, y) - \bar{d}) e^{-i2\pi(xf_x + yf_y)} dx dy \right|^2 \right\rangle$$

- Média sobre várias ROIs na imagem
- Representa a variância como uma função da frequência espacial
- Constante na ausência de correlação no ruído (ruído branco)

- **Estacionariedade**

→ Estacionariedade em sentido amplo (WSS)

- Média e autocovariância são espacialmente constantes em toda a imagem e não variam com o tamanho da ROI

- A integral do NPS = variância dos PVs na ROI

- **Ergoticidade**

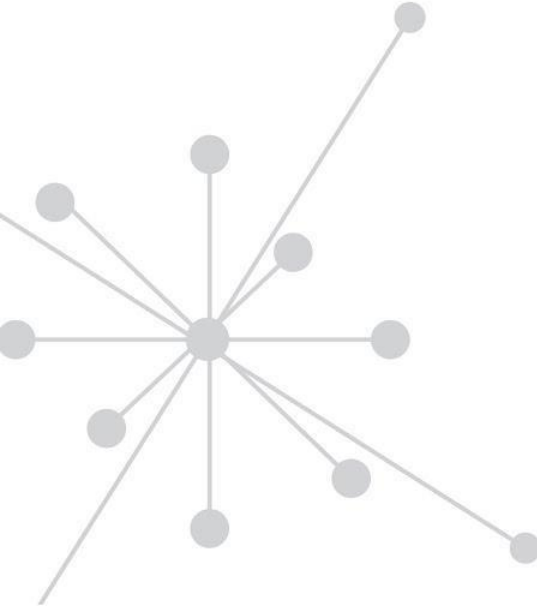
→ Estimada quando a avaliação do ruído é feita utilizando várias imagens

→ Ruído médio calculado a partir de várias ROIs obtidas em diferentes regiões de uma imagens igual à média do ruído de uma sequencia temporal

Relações entre contraste e ruído

Ergoticidade

- Independência da frequência espacial
- Ex. ruído quântico (branco)
- As incertezas associadas a cada quanta detectado não são correlacionadas



Na prática
isso não
acontece...

NPS deve ser calculado com dados linearizados

- PVs expressos em valores proporcionais ao número de fótons incidentes em cada pixel
- Dependem das unidades do PVs
- Os dados precisam ser normalizados pelo kerma no ar no detector ou pela fluência de fótons
- Variações em áreas grandes do detector devidas ao efeito anódico precisam ser removidas antes das medições
- Método descrito na norma: IEC 61267 2005. Medical Diagnostic X-ray Equipment – Radiation Conditions for Use in the Determination of Characteristics.

Relações entre contraste e ruído

Em imagens médicas digitais reais

- Sinais de um pixel são influenciados por outros pixels vizinhos
- Ocorrem não-uniformidades espaciais no processo de detecção

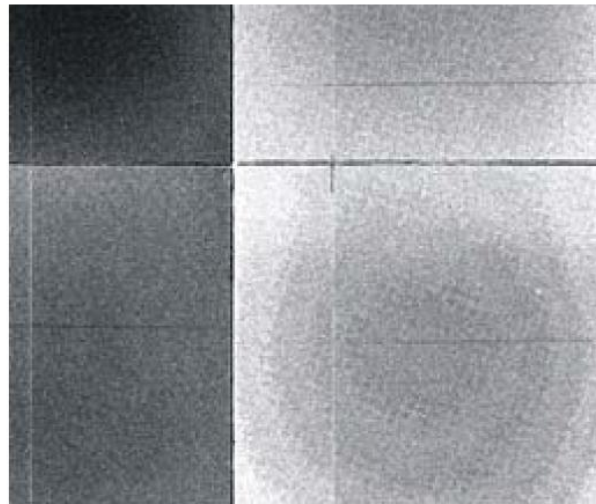
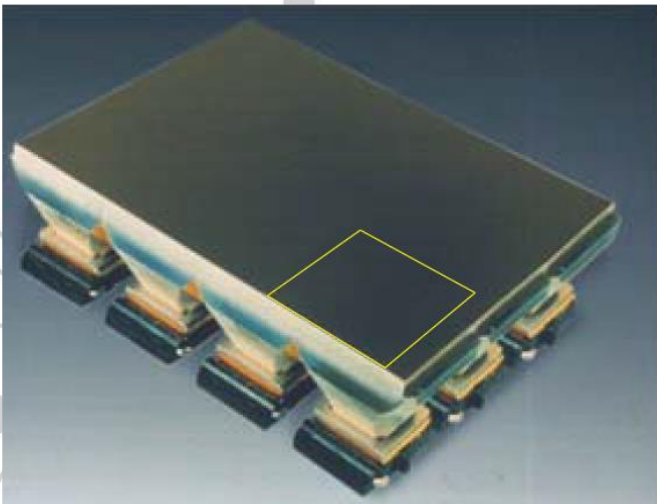
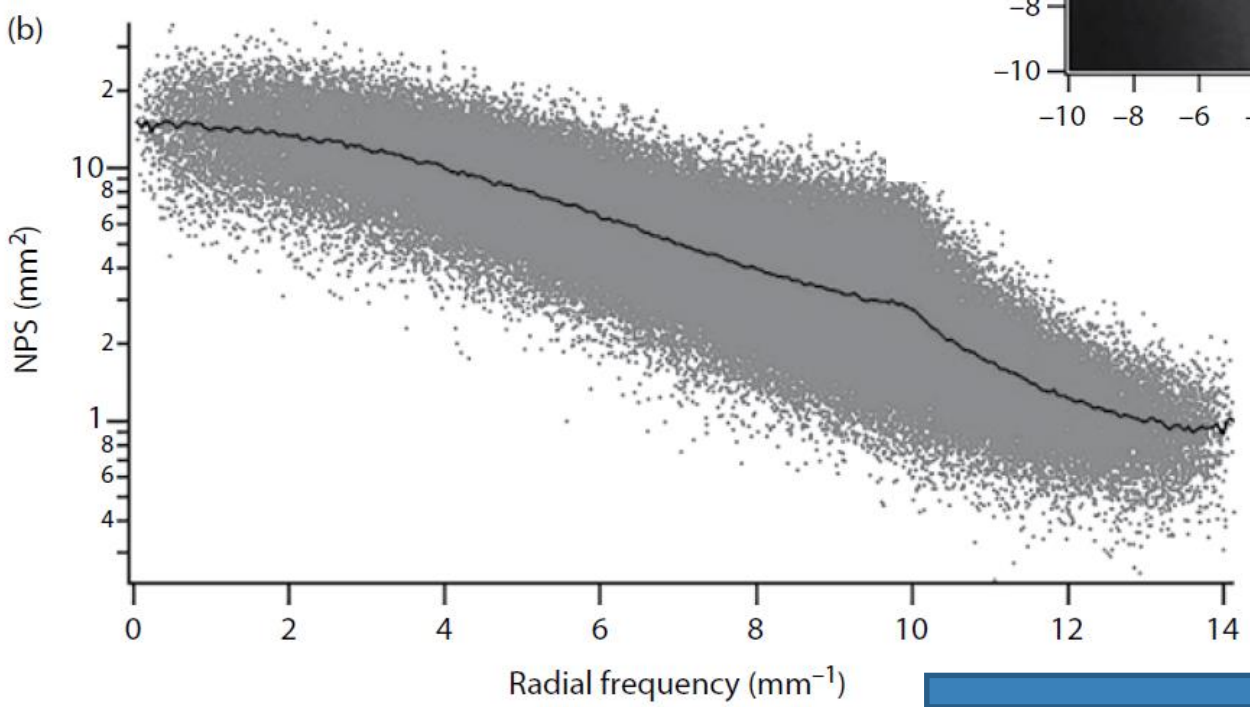
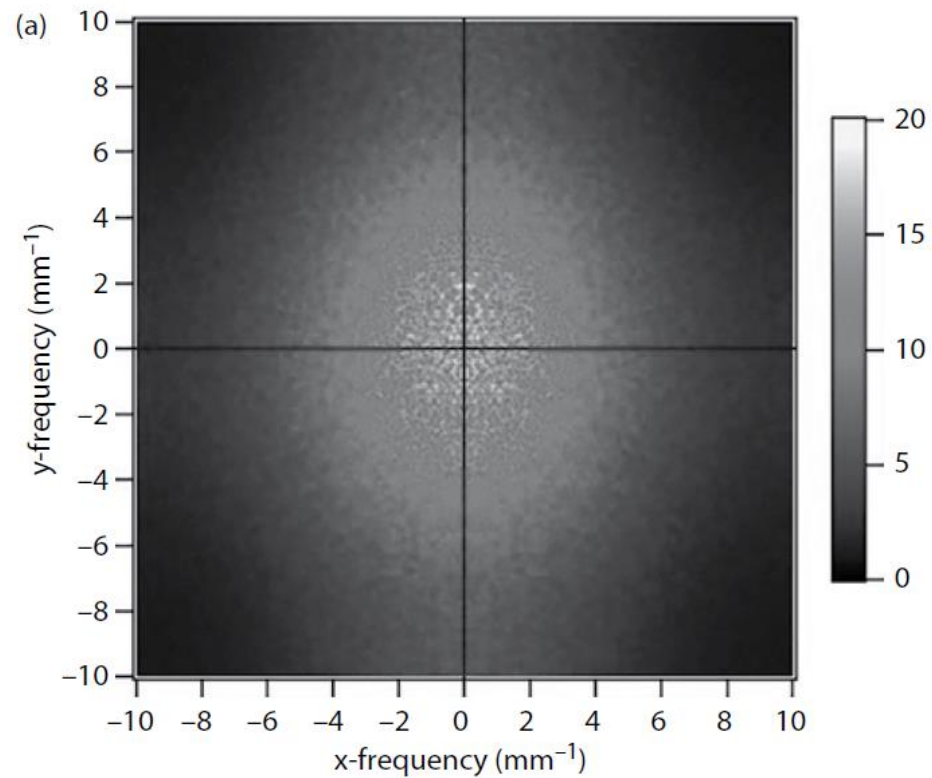


Imagem da
variância
pixel-a-pixel

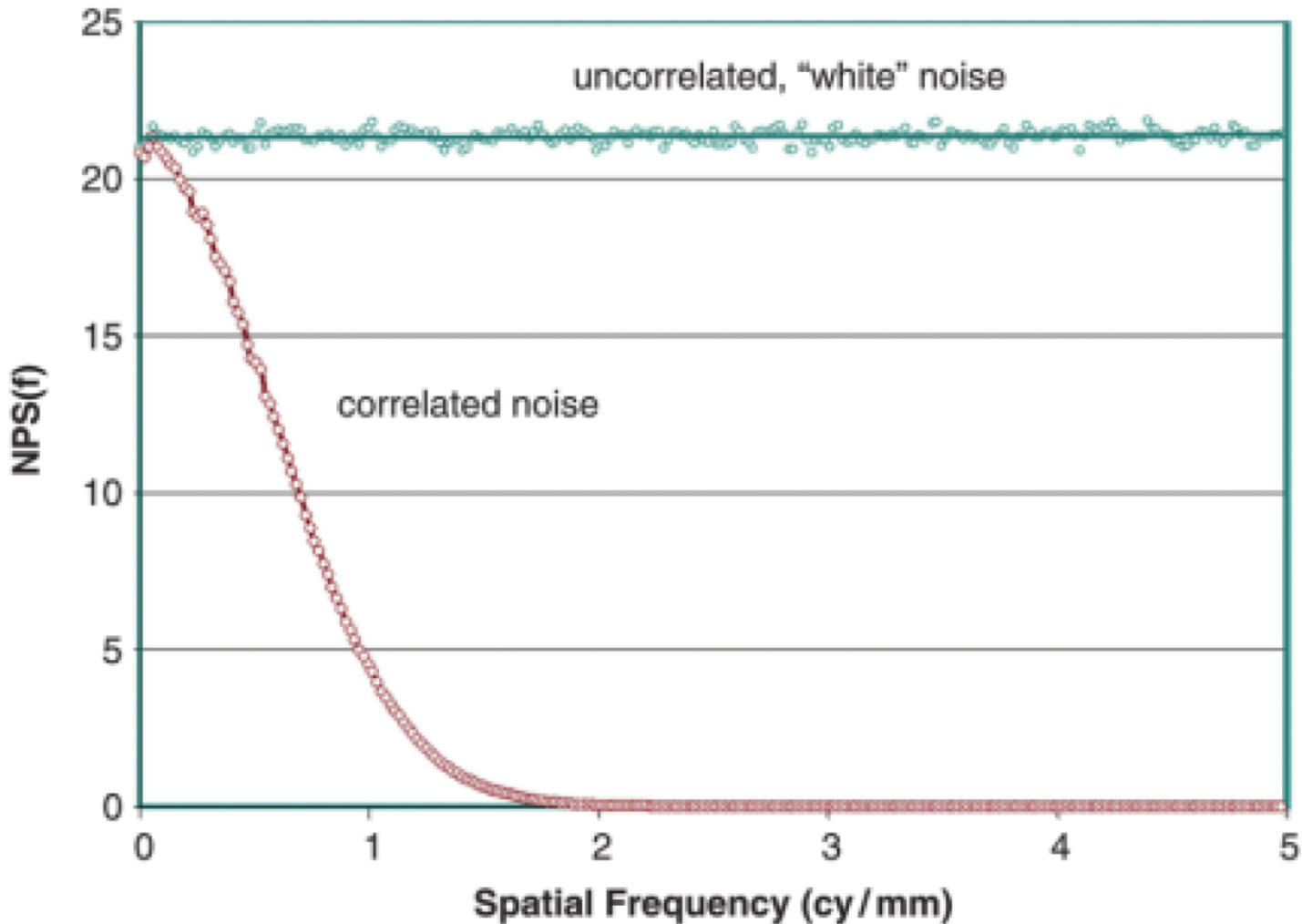


2D e 1D NPS

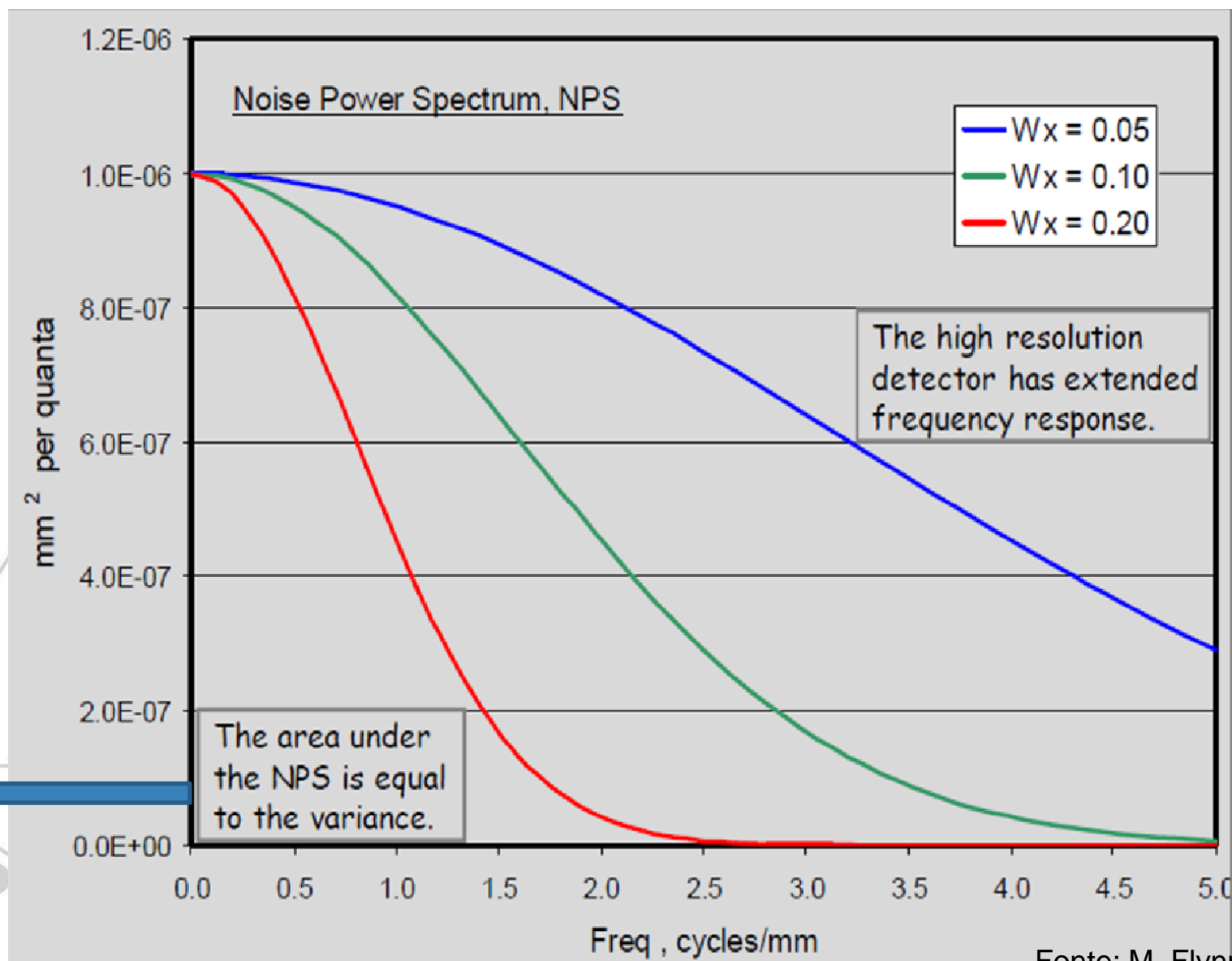


→ $\sqrt{f_x^2 + f_y^2}$

Relações entre contraste e ruído



Relações entre contraste e ruído



Teorema de Parseval



Normalização NPS: o NNPS

Pela IEC 61267

$$\text{NPS}_{\text{out}}(f_x, f_y) = \frac{\Delta x \Delta y}{N_x N_y} \langle |\text{FFT}[\text{PV}(x, y) - \overline{\text{PV}}]|^2 \rangle \quad [\text{mm}^{-2}]$$

$$\text{NNPS}_{\text{out}}(f_x, f_y) = \frac{1}{\overline{\text{PV}}^2} \frac{\Delta x \Delta y}{N_x N_y} \langle |\text{FFT}[\text{PV}(x, y) - \overline{\text{PV}}]|^2 \rangle \quad [\text{mm}^2]$$

Independente da unidade
dos pixels

Fluência de
fótons

Decresce com
o aumento da
exposição no detector

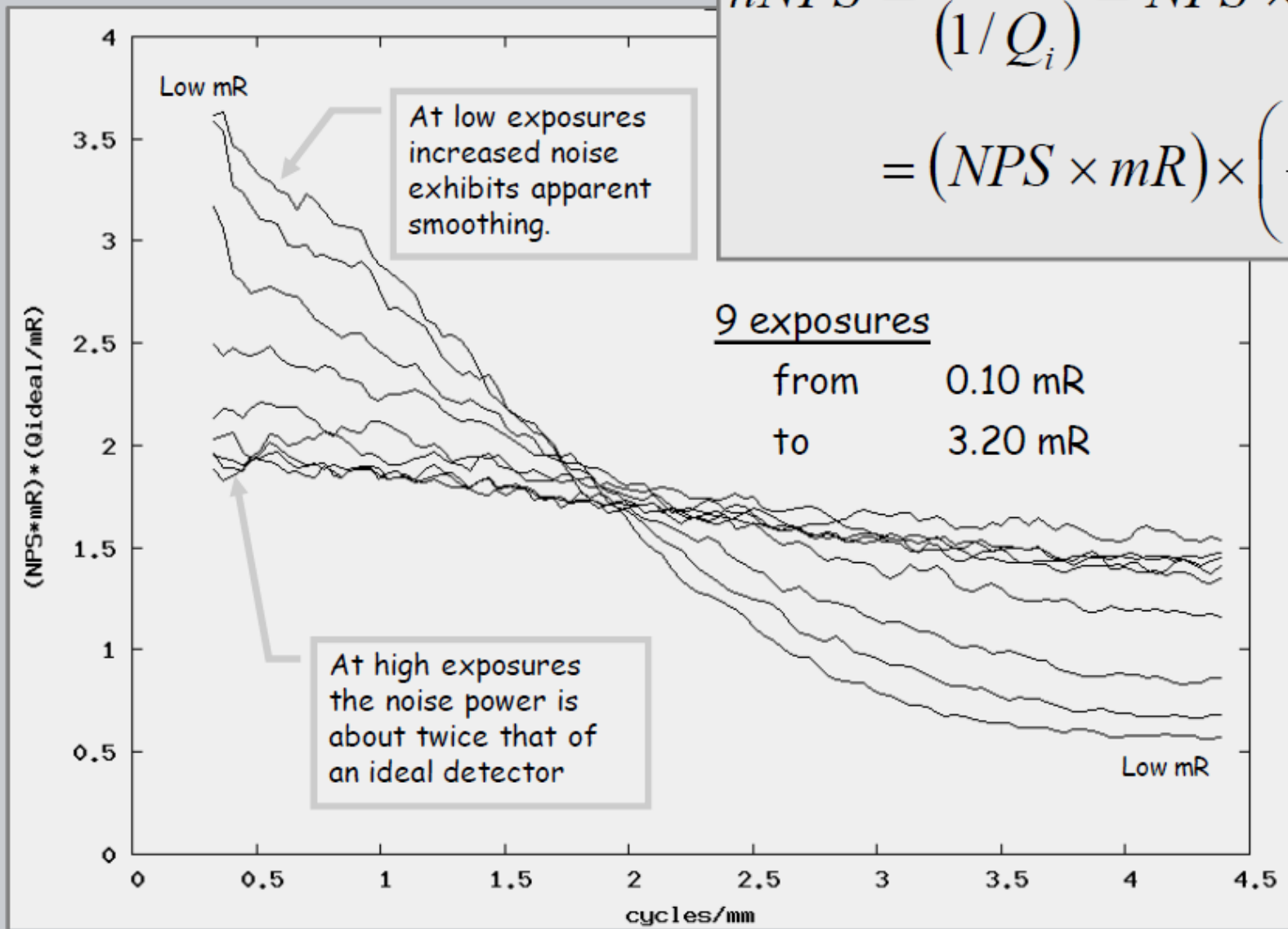
$\underbrace{\text{NNPS} \times Q}_{\text{adimensional}}$

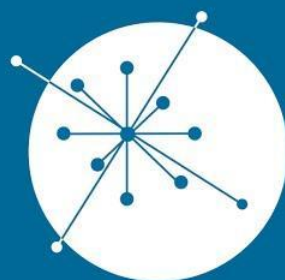


NPS relative to an ideal detector

$$nNPS = \frac{NPS}{(1/Q_i)} = NPS \times Q_i$$

$$= (NPS \times mR) \times \left(\frac{Q_i}{mR} \right)$$





GRUPO DE
**DOSIMETRIA
DAS RADIAÇÕES**
e FÍSICA MÉDICA

IFUSP - Instituto de Física da USP

