

# SEL 0449 - Processamento Digital de Imagens Médicas

## Aula 8 – Restauração de Imagens Parte 1

Prof. Dr. Marcelo Andrade da Costa Vieira

[mvieira@sc.usp.br](mailto:mvieira@sc.usp.br)

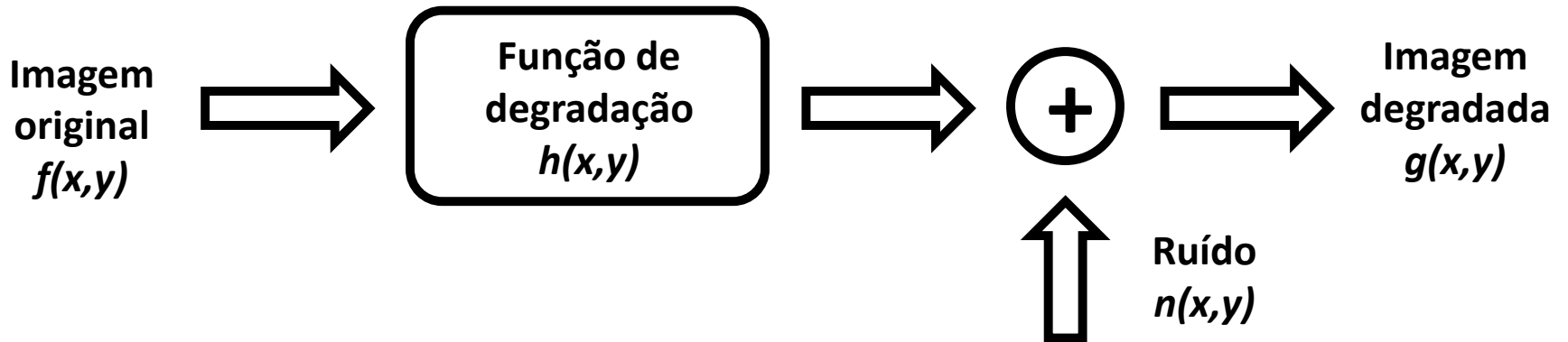
# Realce X Restauração

- **Realce de imagens:**
  - Processar a imagem para obter um resultado mais apropriado para uma determinada aplicação;
  - Processo subjetivo.
- **Restauração de imagens:**
  - Recuperar a imagem corrompida com base em conhecimento *a priori* do fenômeno de degradação;
  - Processo objetivo.

# Restauração

- O sucesso da restauração depende de alguns fatores:
  - A acurácia do modelo de degradação adotado;
  - A precisão na estimativa dos parâmetros de degradação do sistema.

# Modelo clássico de degradação



$$g(x, y) = h(x, y) * f(x, y) + n(x, y)$$

← Domínio do espaço

$$G(u, v) = H(u, v) \cdot F(u, v) + N(u, v)$$

← Domínio da frequência

# Restauração



$$G(u, v) = H(u, v) \cdot F(u, v) + N(u, v)$$

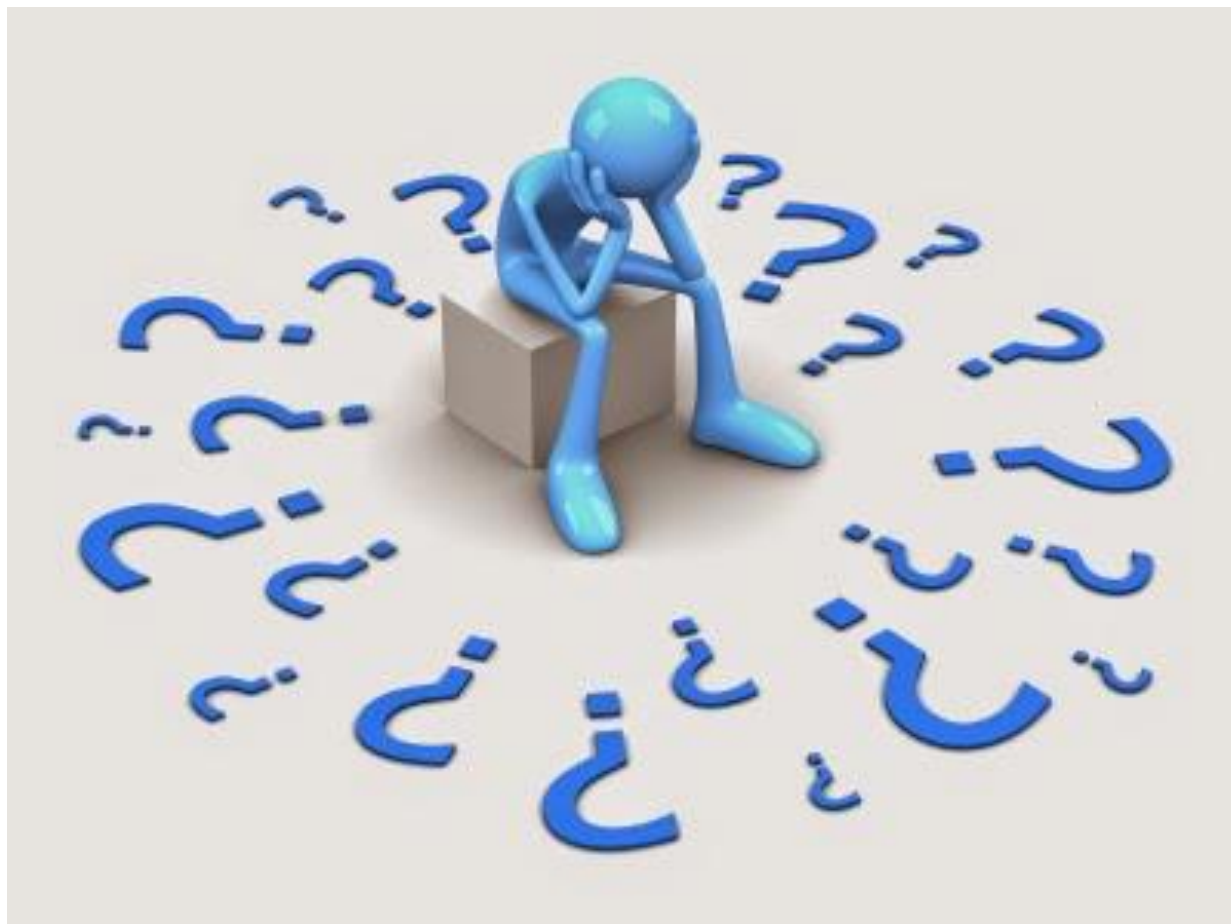
$$\hat{F}(u, v) = \frac{G(u, v) - N(u, v)}{H(u, v)}$$

# Tipos de restauração

- Imagens corrompidas apenas pelo ruído;
- Imagens corrompidas apenas pela função de degradação;
- Imagens corrompidas pelo ruído e pela função de degradação.

# Restauração de imagens corrompidas apenas pelo ruído

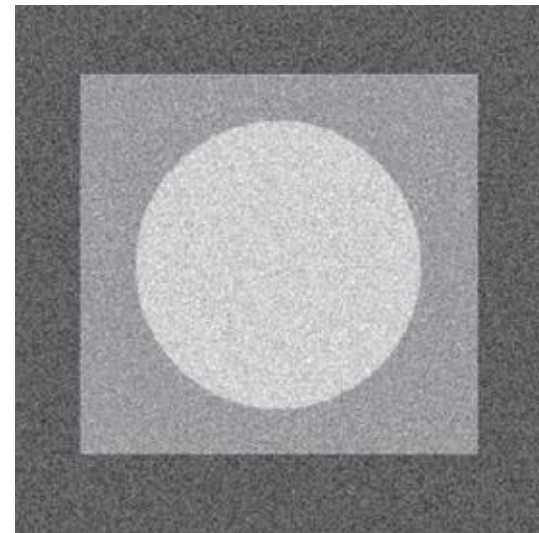
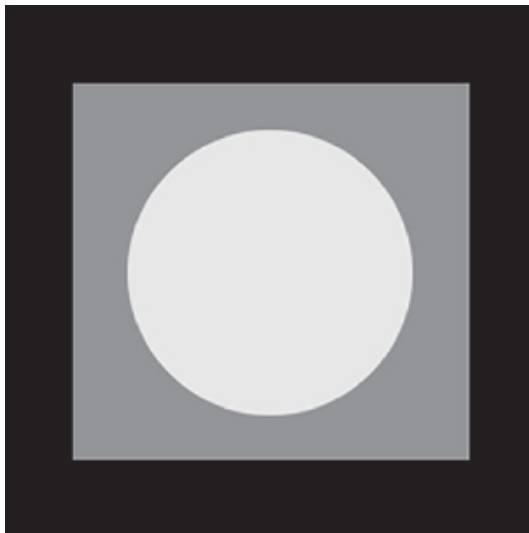
# O que é ruído em uma imagem?





# O que é ruído em uma imagem?

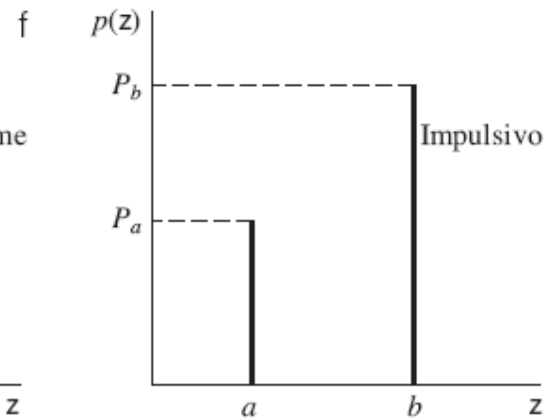
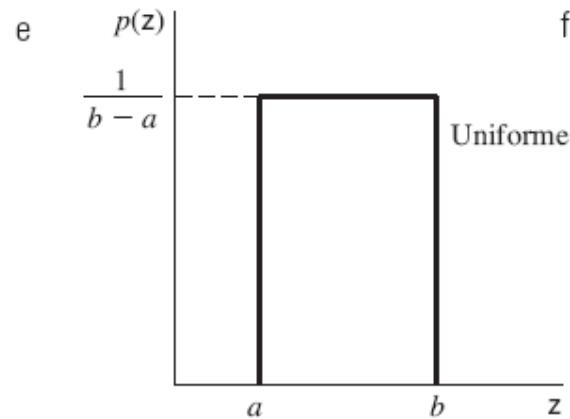
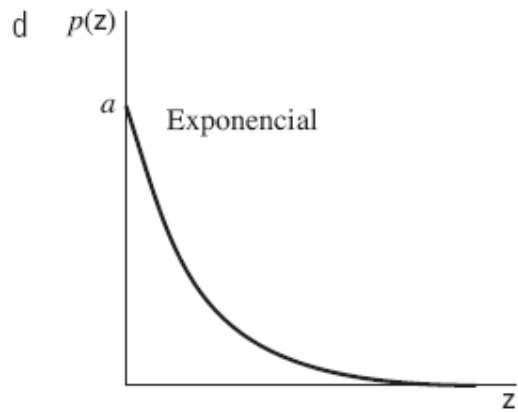
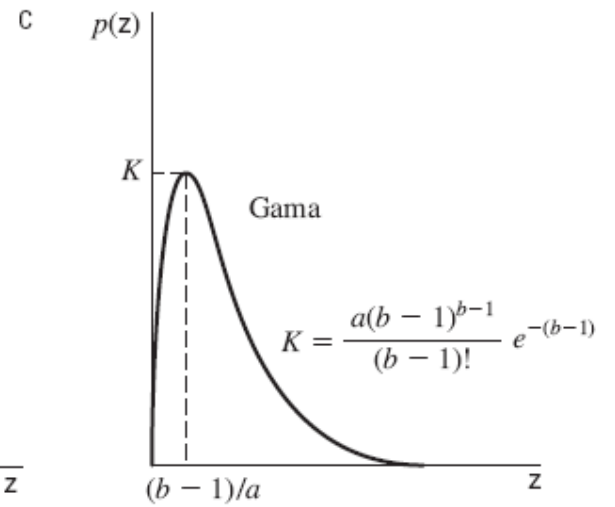
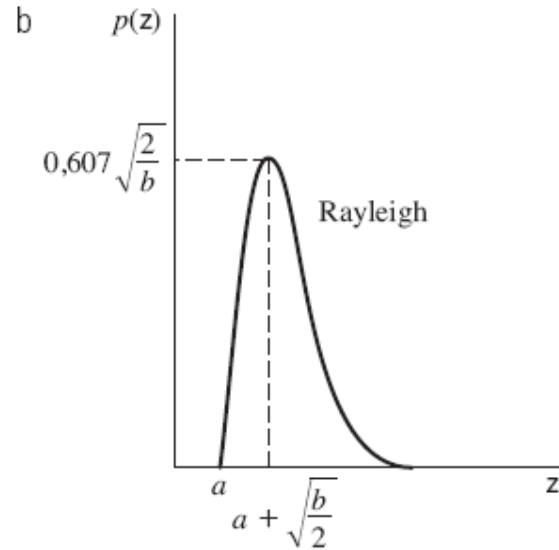
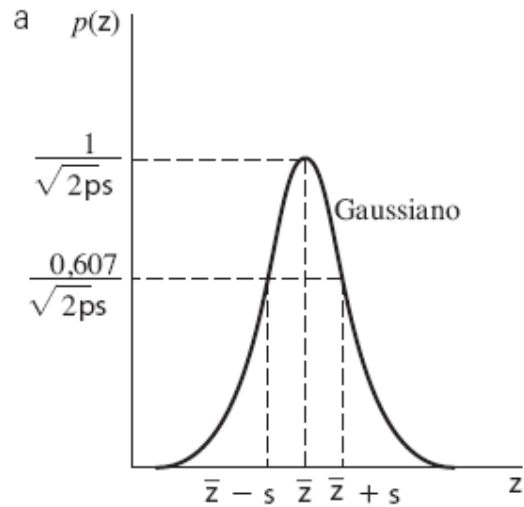
- Ruído é uma variação aleatória das informações de brilho ou cor presentes em uma imagem;
- Geralmente é gerado no processo de captura da imagem e é originário dos sensores e componentes eletrônicos do sistema de aquisição.



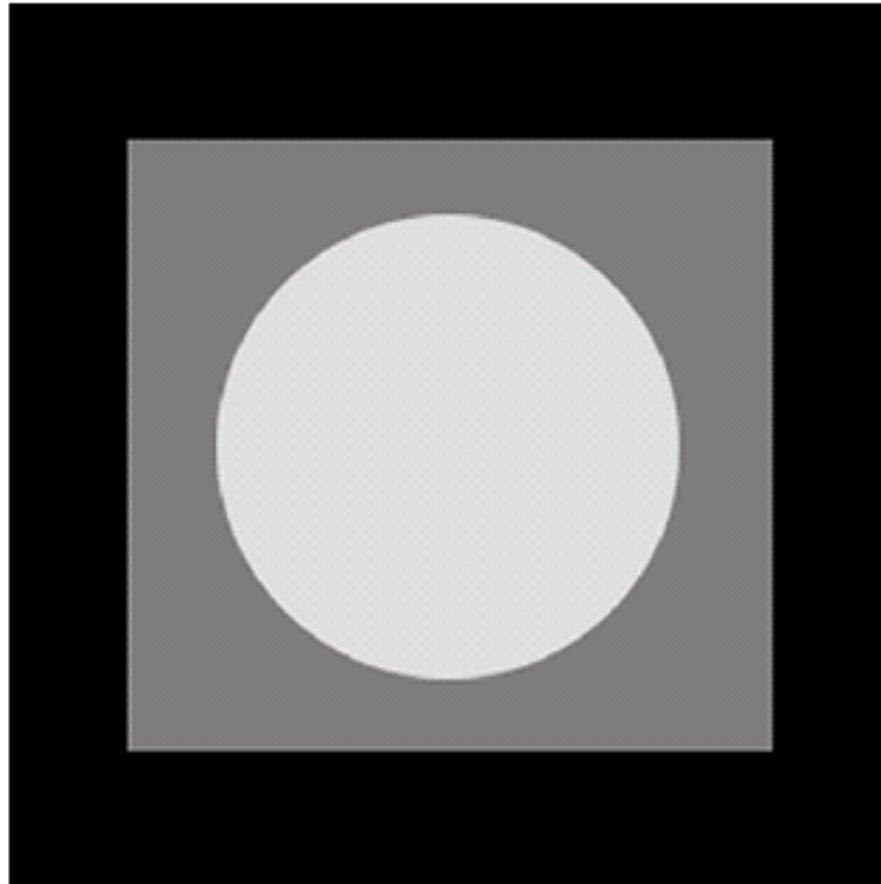
# Tipos de Ruído

- Ruído gaussiano (AWGN)
- Ruído impulsivo (“sal e pimenta”)
- Ruído uniforme
- Ruído periódico
- Ruído quântico
- Ruído *speckle*

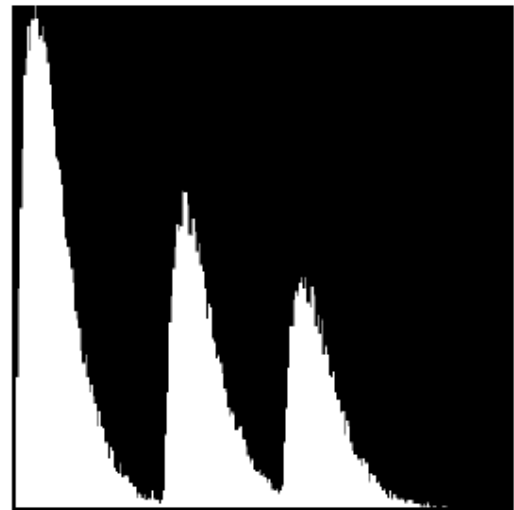
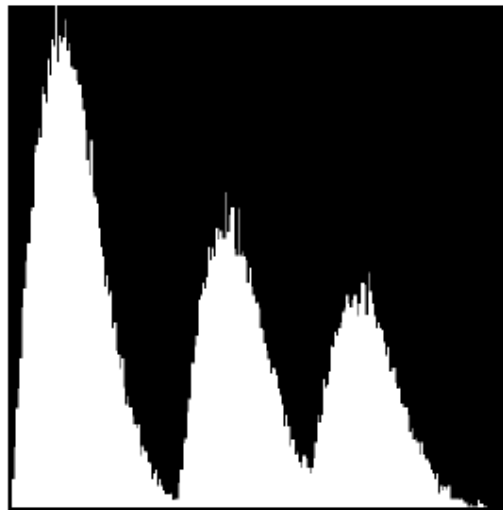
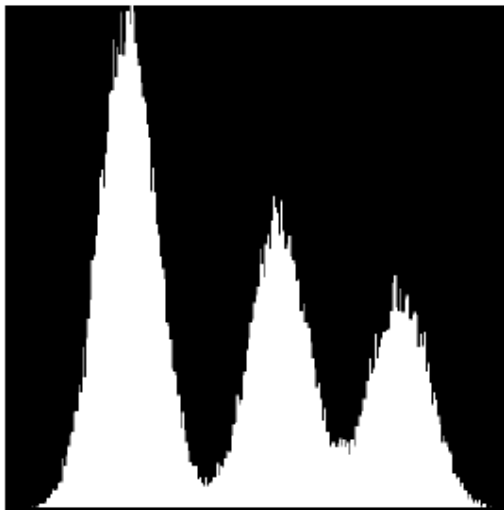
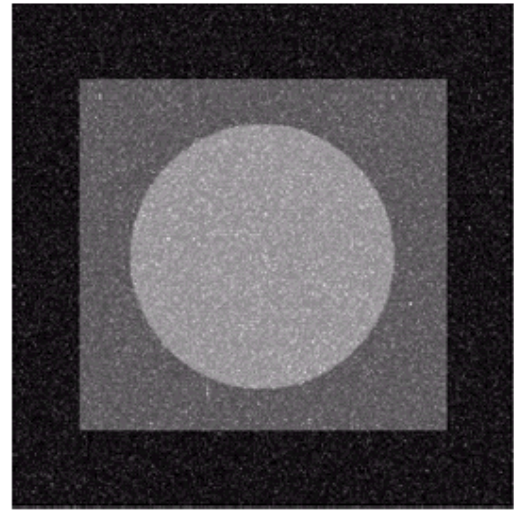
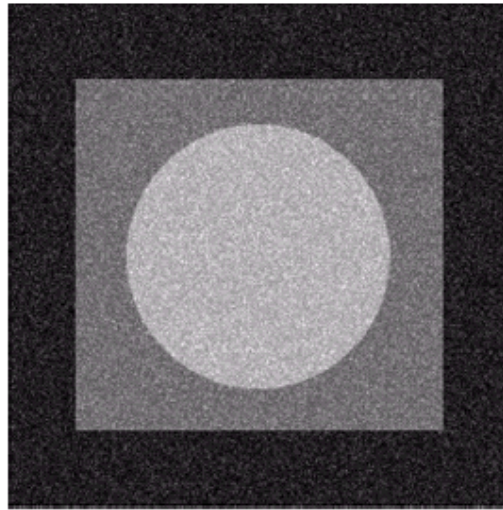
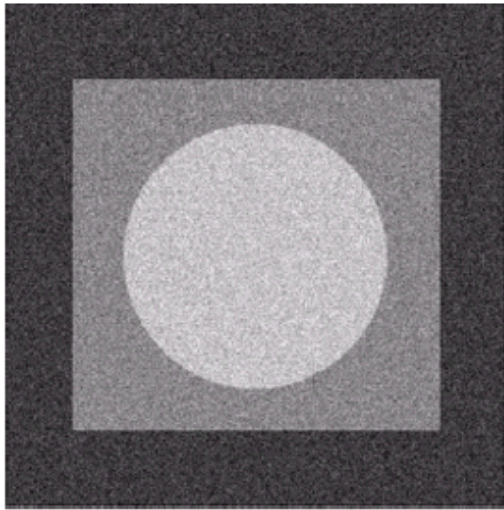
# Ruído



# Tipos de Ruído



# Tipos de Ruído

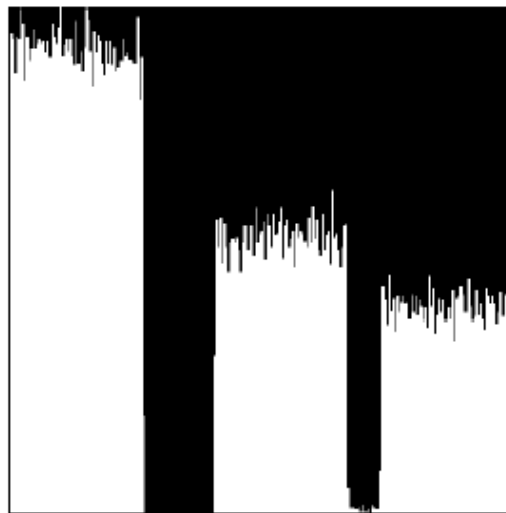
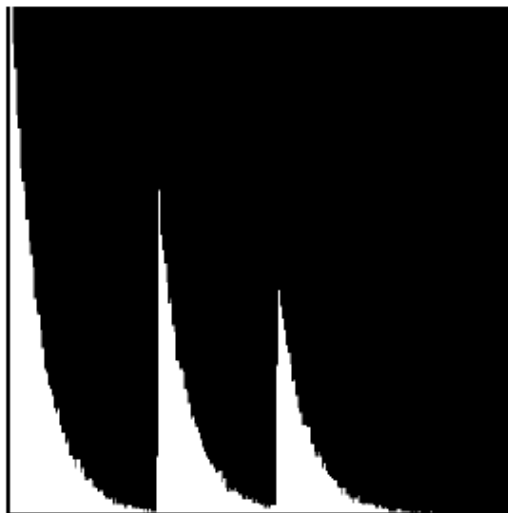
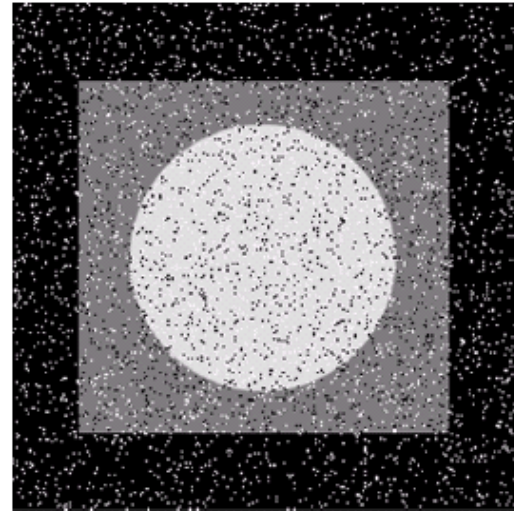
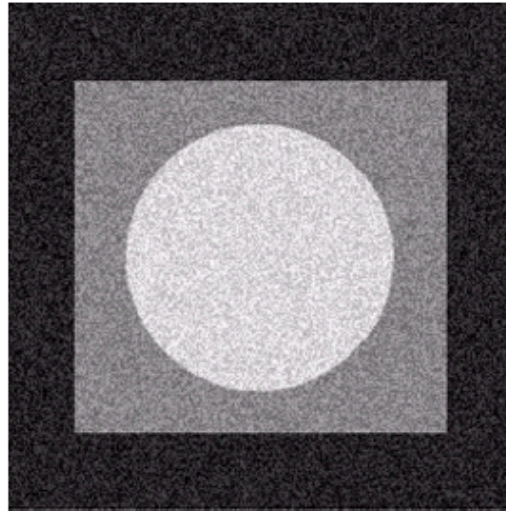
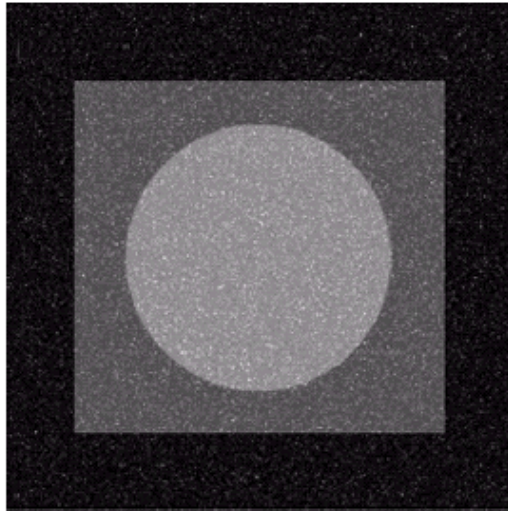


Gaussian

Rayleigh

Gamma

# Tipos de Ruído



Exponential

Uniform

Salt & Pepper

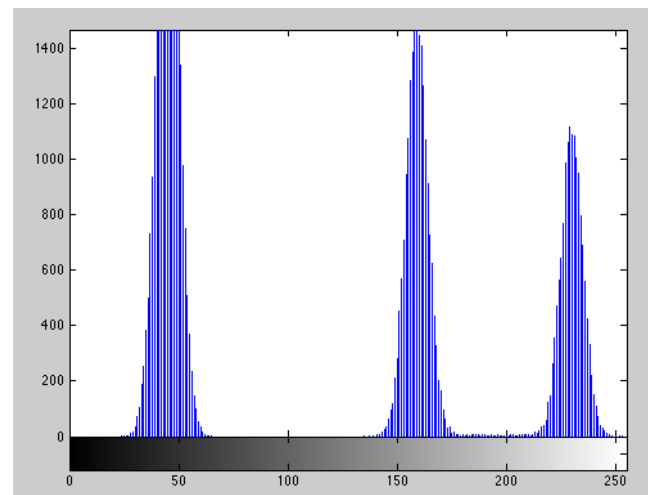
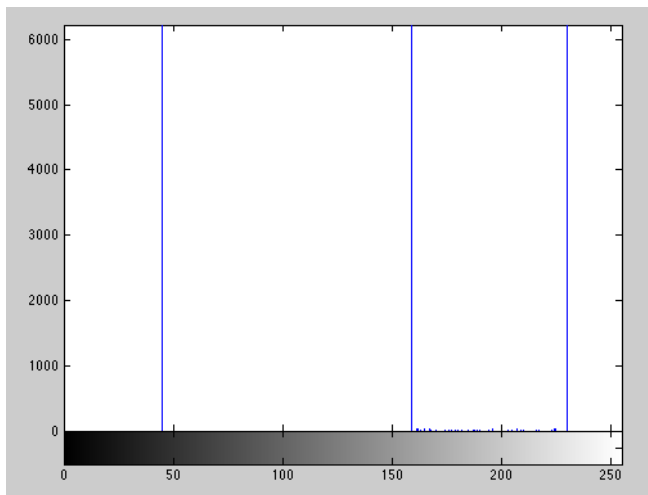
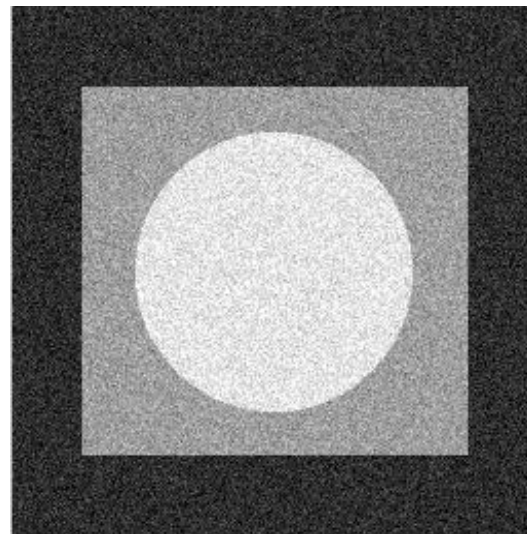
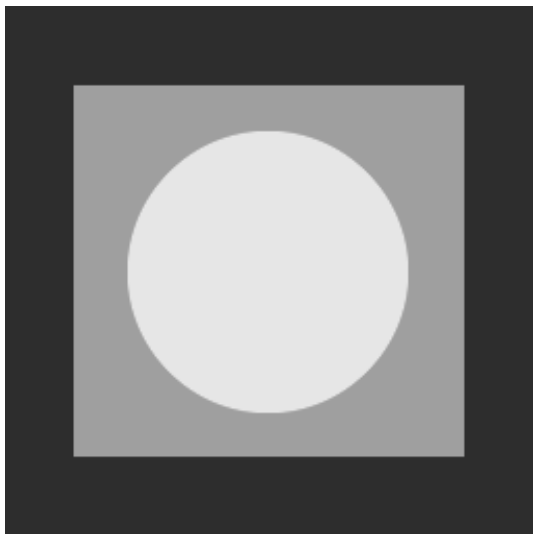
# Ruído gaussiano

# Ruído Gaussiano (AWGN)

- Gerado na aquisição da imagem
- Usado para modelar o ruído eletrônico (térmico)
- Aleatório
- Aditivo
- Independente do sinal
- Geralmente possui espectro de Fourier constante (ruído branco)
- **AWGN** – *Additive White Gaussian Noise*



# Ruído Gaussiano (AWGN)

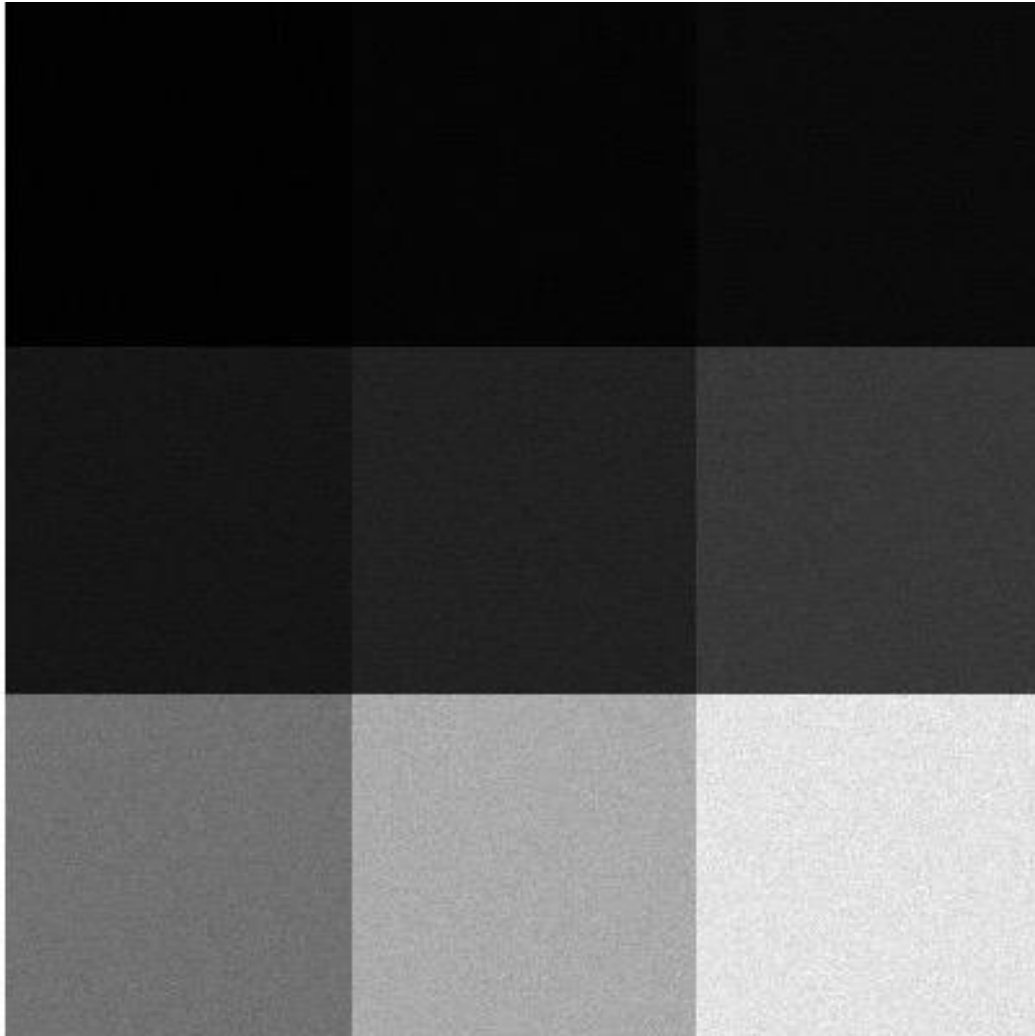


# Dependência do sinal

# Imagem sem ruído

<b>10</b>	<b>25</b>	<b>50</b>
<b>100</b>	<b>150</b>	<b>250</b>
<b>500</b>	<b>750</b>	<b>1000</b>

# Imagem com ruído AWGN



# Ruído AWGN

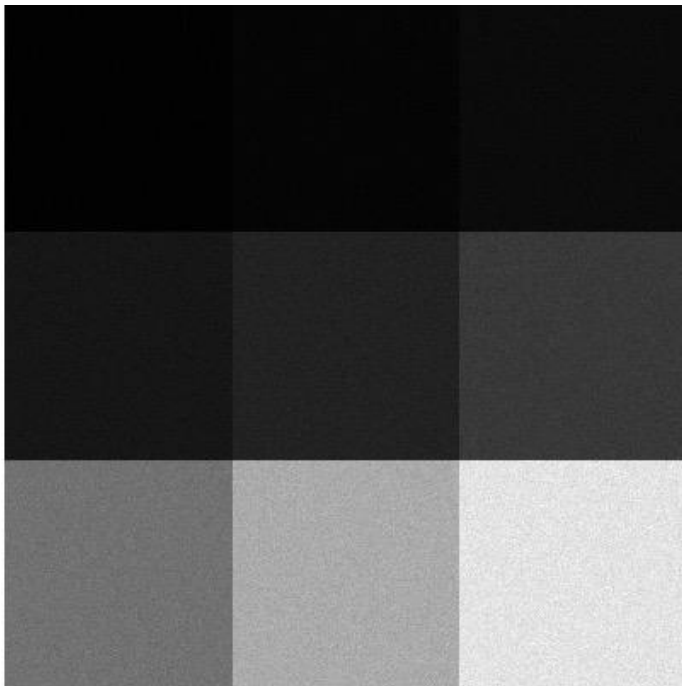


Imagem ruidosa

—

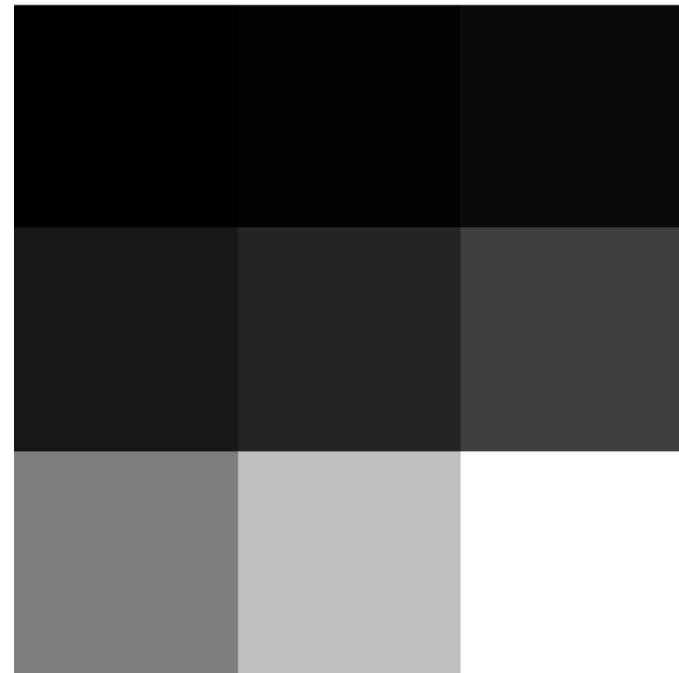
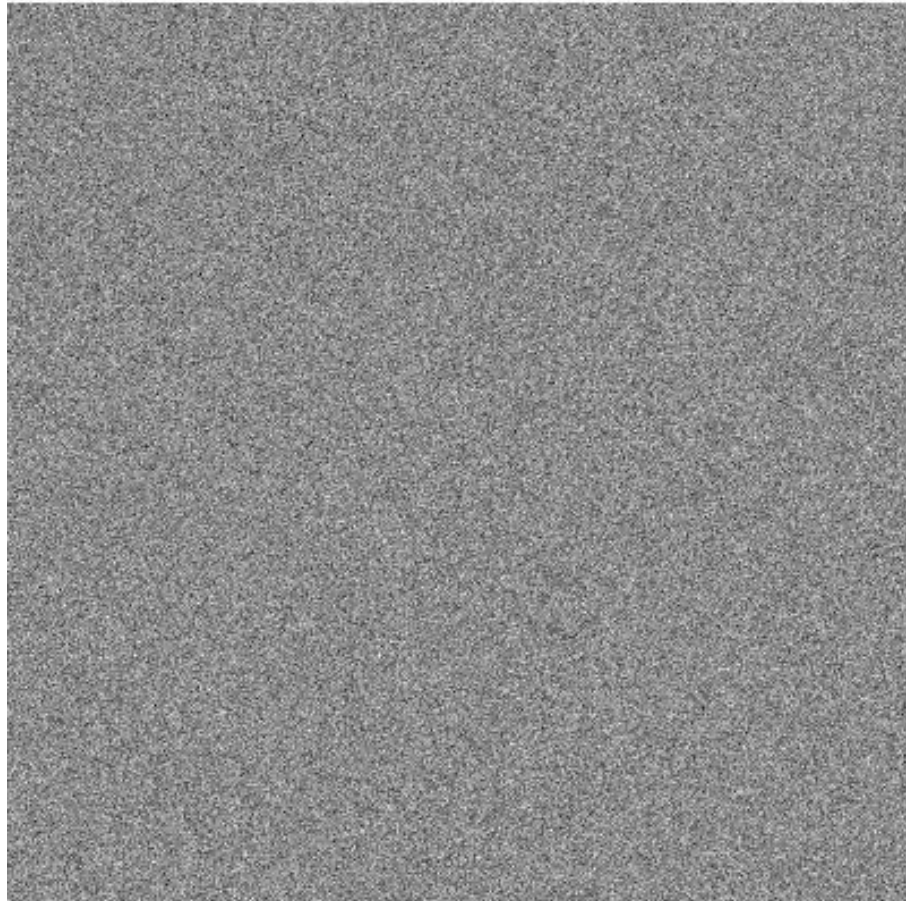


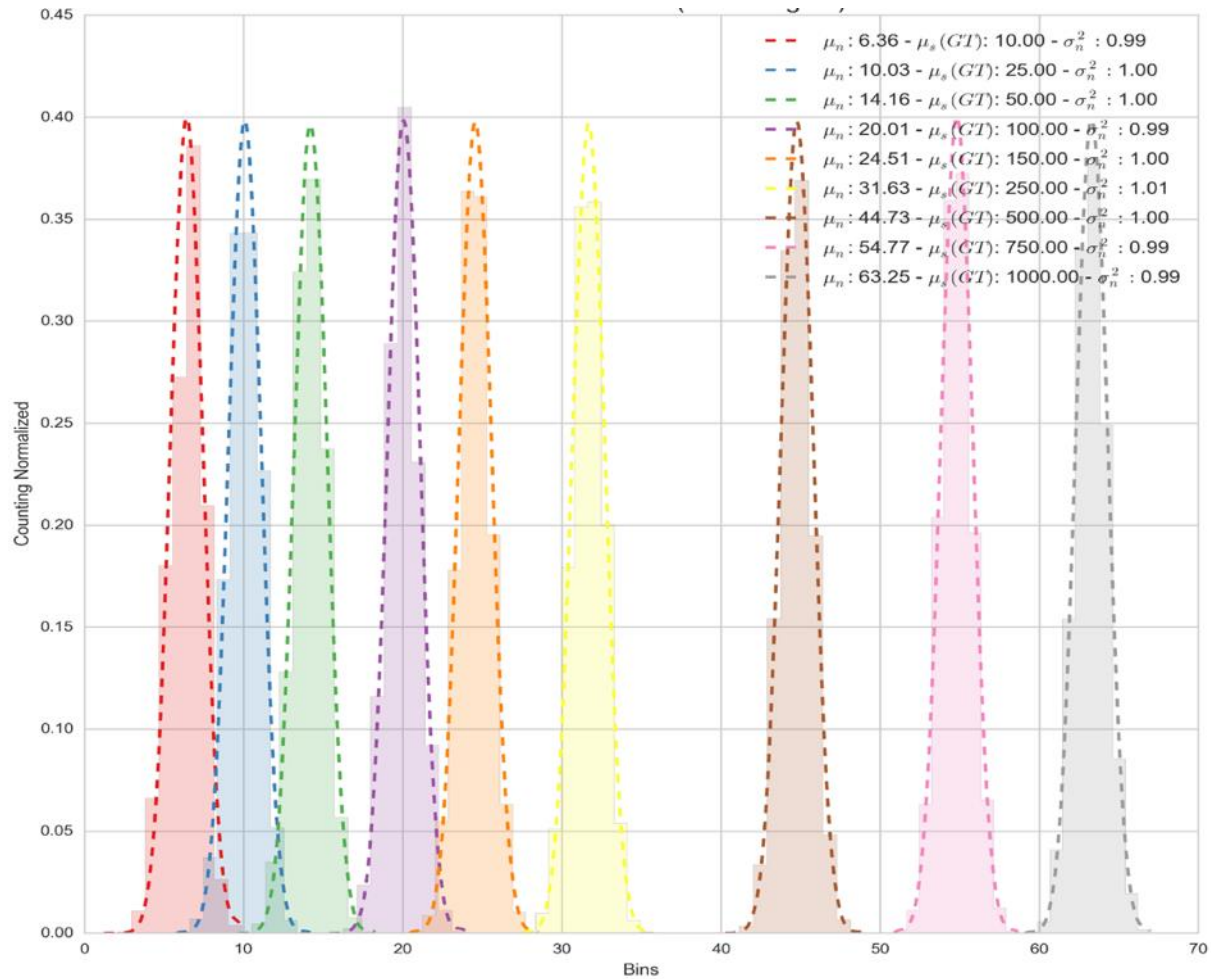
Imagem sem ruído

=

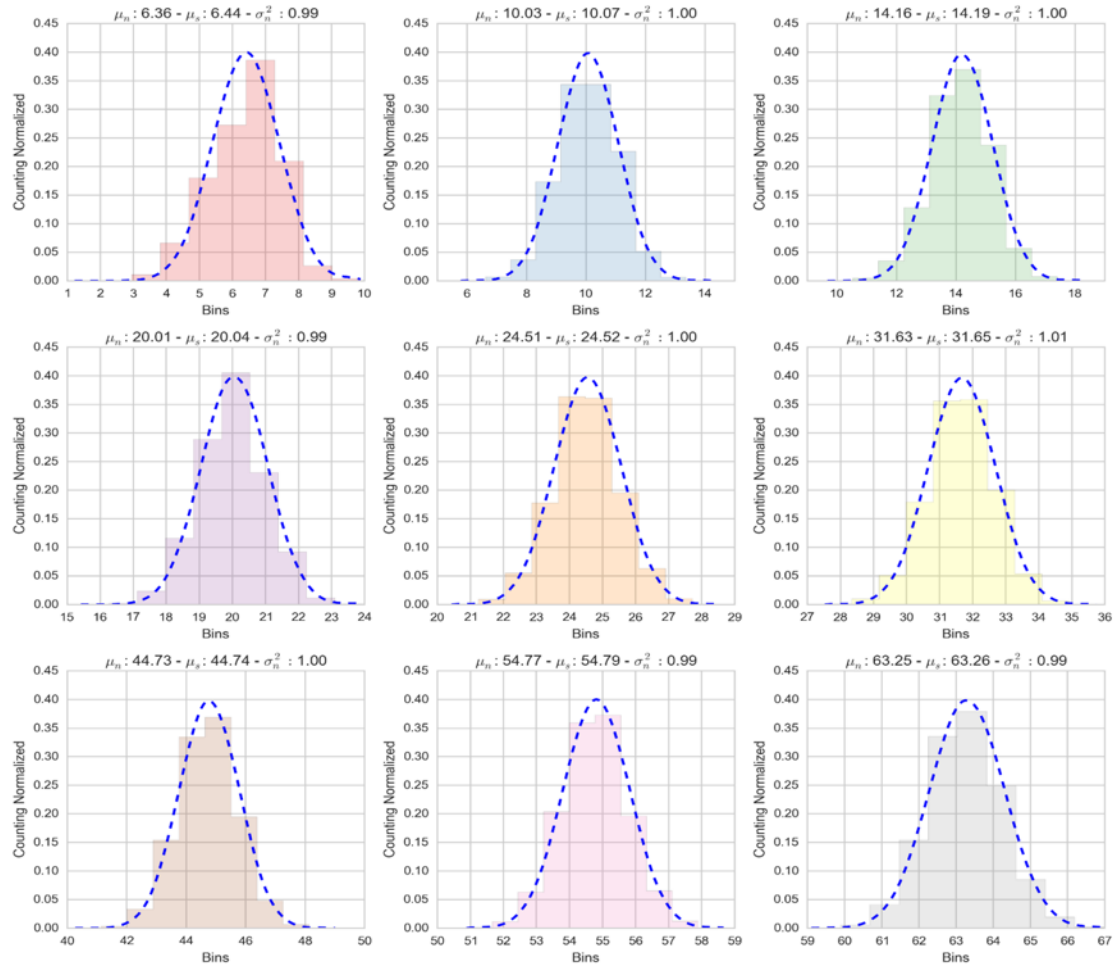
# Ruído AWGN



# Histograma



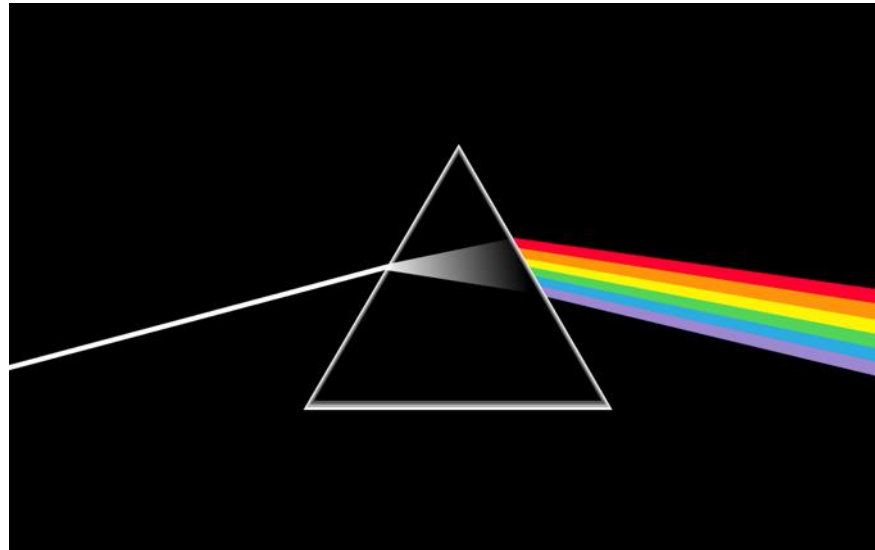
# Histograma





# Ruído branco

# Ruído branco



- É um sinal aleatório com igual intensidade em diferentes frequências;
- Densidade espectral de potência do ruído (NPS) é constante;
- Termo deriva das propriedades da luz branca.

# Ruído AWGN



Imagem uniforme  
Sem ruído

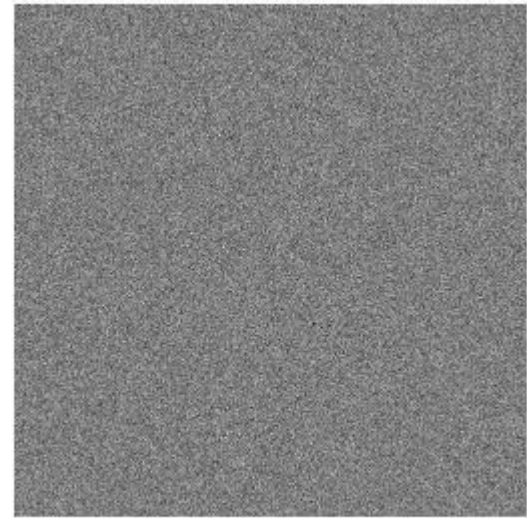


Imagem uniforme  
Com ruído AWGN

# Histogramas

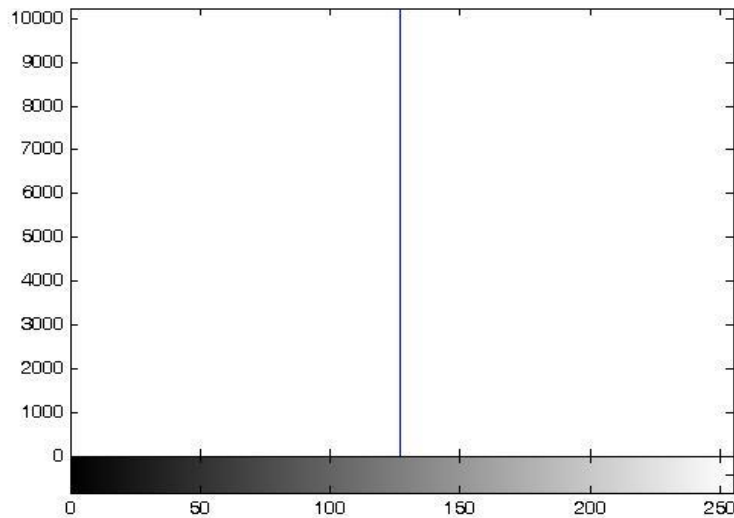


Imagem uniforme  
Sem ruído

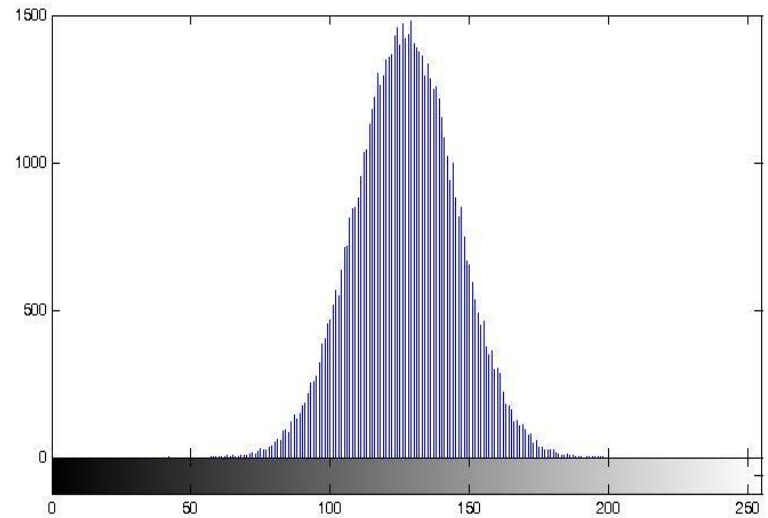


Imagem uniforme  
Com ruído AWGN

# Espectro de Fourier

No domínio da frequência

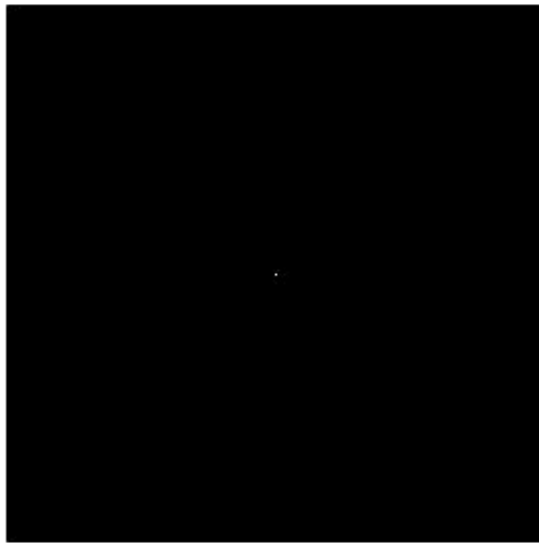


Imagem uniforme  
Sem ruído

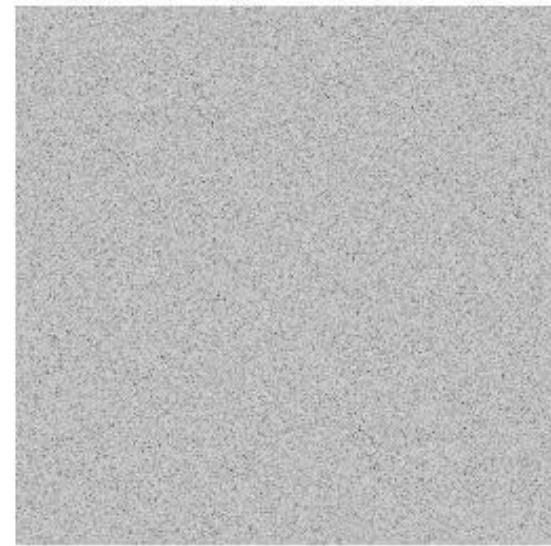
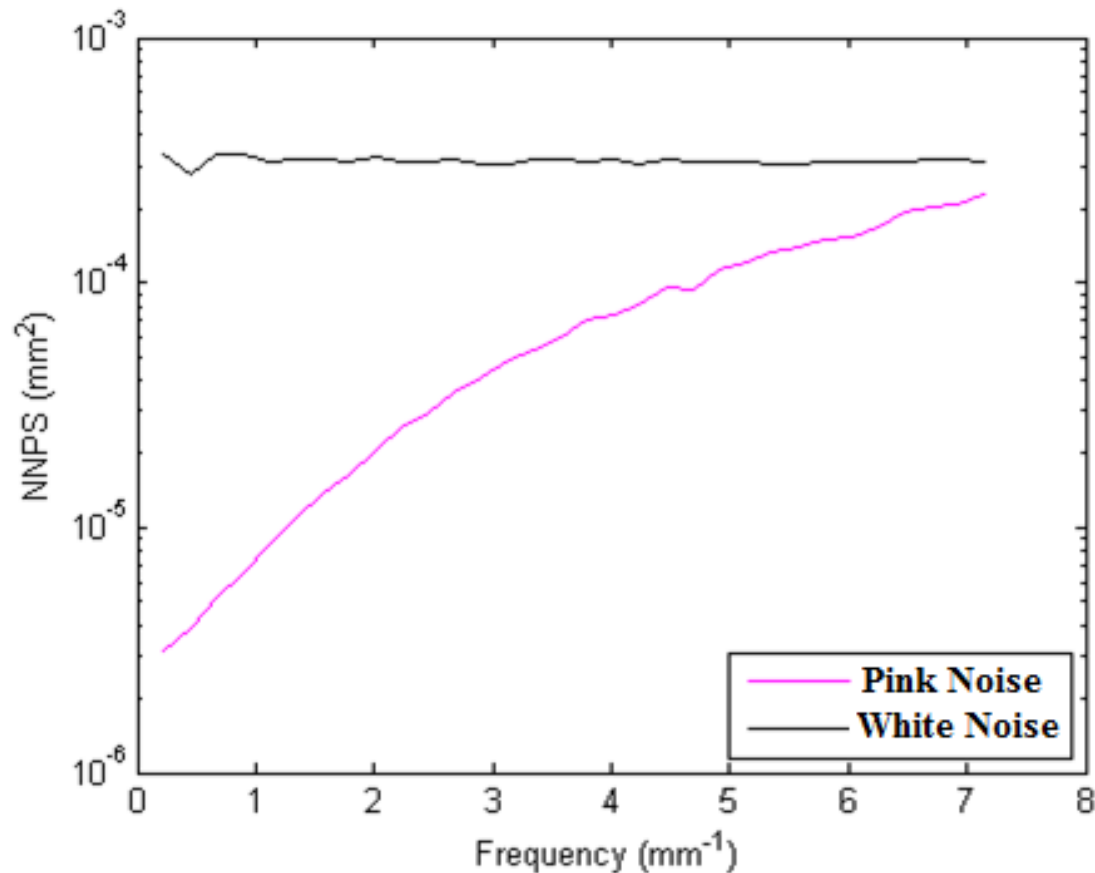


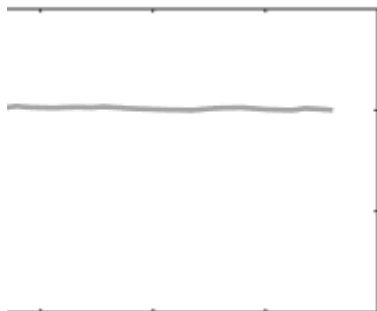
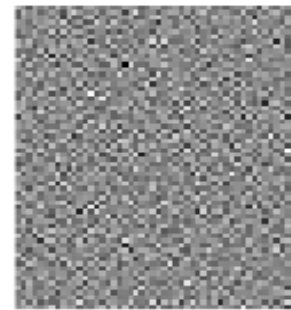
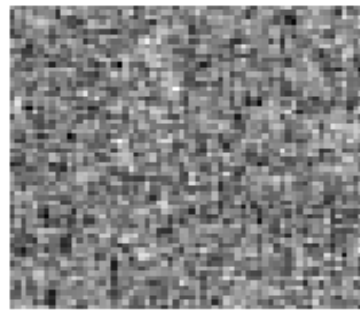
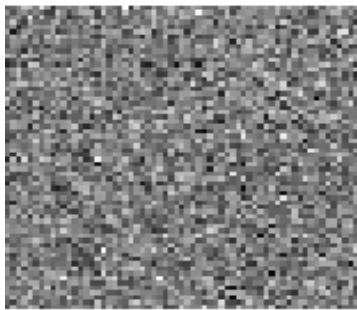
Imagem uniforme  
Com ruído AWGN

# Densidade espectral de potência

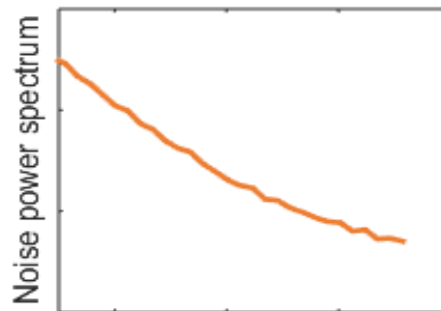


# Ruído branco x Ruído colorido

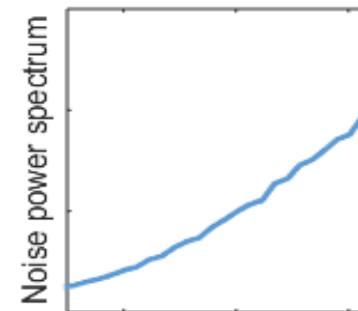
Todas as imagens foram contaminadas por ruído gaussiano aditivo com média zero e variância unitária



Frequency



Frequency



Frequency

# Como remover o ruído AWGN?





# Restauração apenas do ruído

$$g(x, y) = h(\cancel{x}, y) * f(x, y) + n(x, y)$$

$$g(x, y) = f(x, y) + n(x, y) \longrightarrow \hat{f}(x, y) = g(x, y) - n(\cancel{x}, y)$$

$$G(u, v) = F(u, v) + N(u, v) \longrightarrow \hat{F}(u, v) = G(u, v) - N(\cancel{u}, v)$$

# Ruído AWGN



Imagem uniforme  
Sem ruído

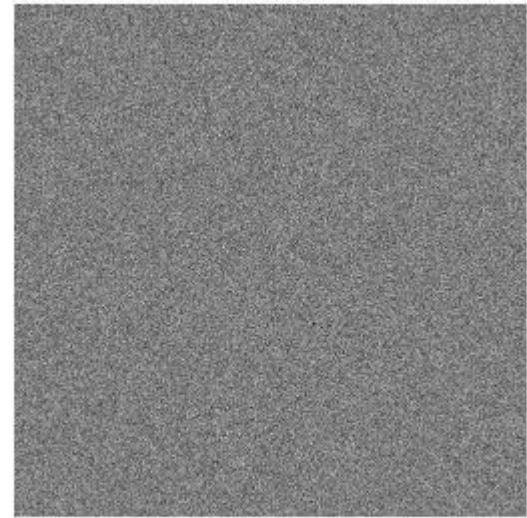


Imagem uniforme  
Com ruído AWGN

# Histogramas

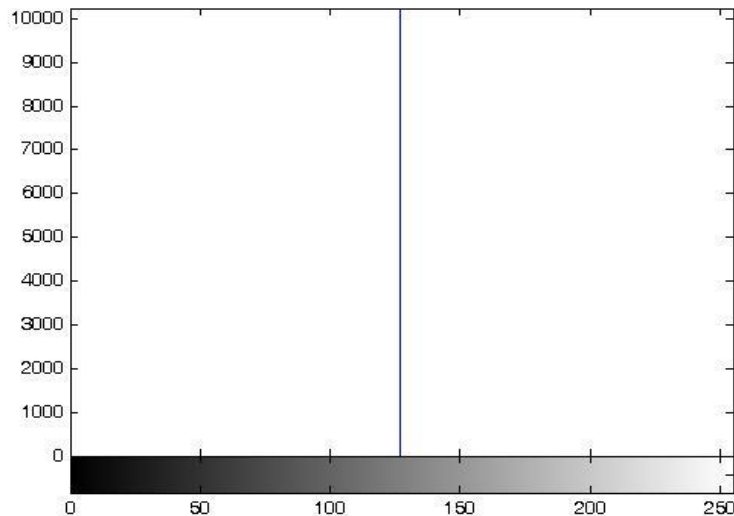


Imagem uniforme  
Sem ruído

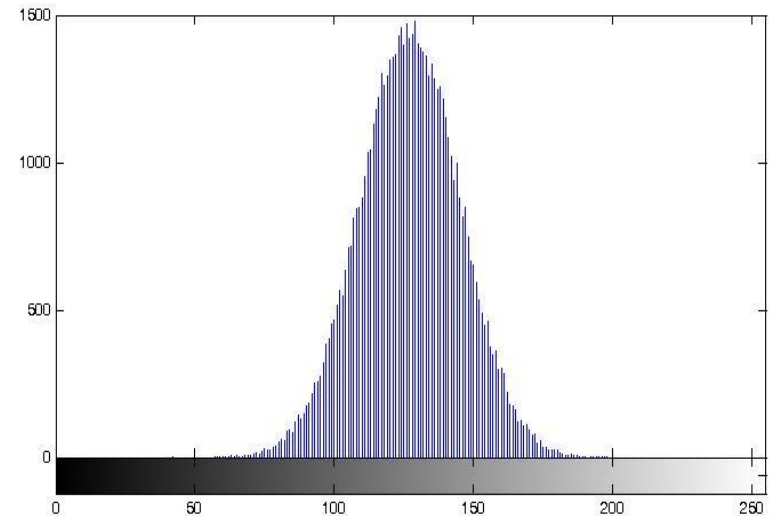


Imagem uniforme  
Com ruído AWGN

Realizar a **MÉDIA** do sinal ruidoso!

# Filtro da média (aritmética)

$$\hat{f}(x, y) = \frac{\sum_{s, t \in S_{xy}} g(s, t)}{MN}$$

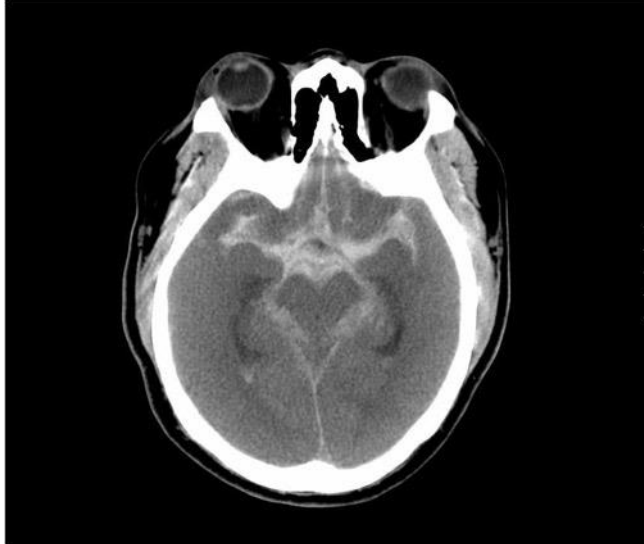
Exemplo:

10	20	20
20	13	20
20	25	100

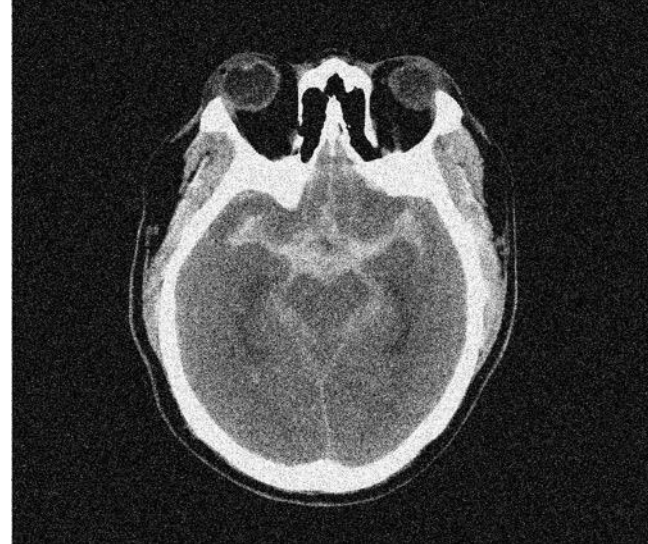
$$\hat{f}(x, y) = \frac{10 + 20 + 20 + 20 + 13 + 20 + 20 + 25 + 100}{9}$$
$$= 27,55 \sim \mathbf{28}$$

# Filtro da média (aritmética)

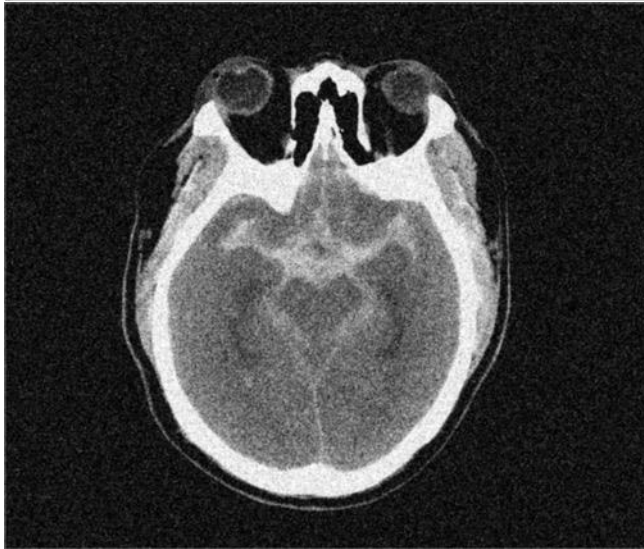
Original



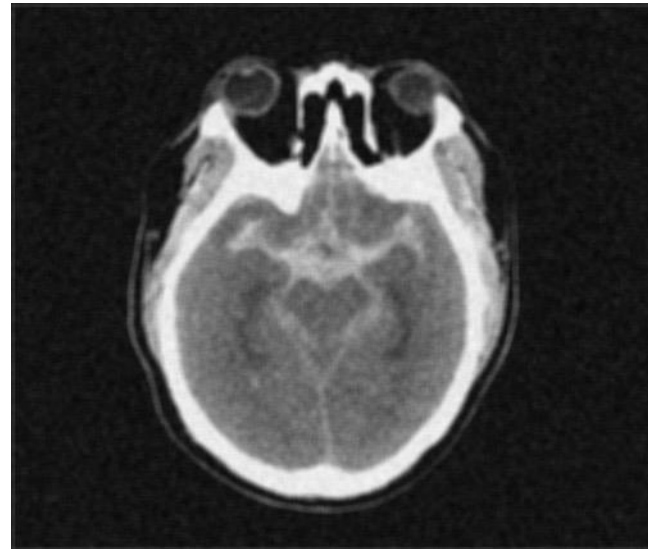
Ruidosa



Média 3x3



Média 9x9



# Filtro da média (aritmética)

- Processamento no domínio do espaço
- Filtragem espacial por vizinhança (convolução)
- Filtro espacial passa-baixa é implementado através de uma máscara (*kernel*) que realiza a média da vizinhança:

$$\frac{1}{5} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \frac{1}{32} \begin{bmatrix} 1 & 3 & 1 \\ 3 & 16 & 3 \\ 1 & 3 & 1 \end{bmatrix} \quad \frac{1}{8} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$



**Média Aritmética**

# Filtros de Média Geométrica

$$\hat{f}(x, y) = \left[ \prod_{s, t \in S_{xy}} g(s, t) \right]^{\frac{1}{MN}}$$

Exemplo:

10	20	20
20	13	20
20	25	100

$$\begin{aligned} \hat{f}(x, y) &= [10 \cdot 20 \cdot 20 \cdot 20 \cdot 13 \cdot 20 \cdot 20 \cdot 25 \cdot 100]^{\frac{1}{9}} \\ &= 21,64 \sim \mathbf{22} \end{aligned}$$

Imagem Original

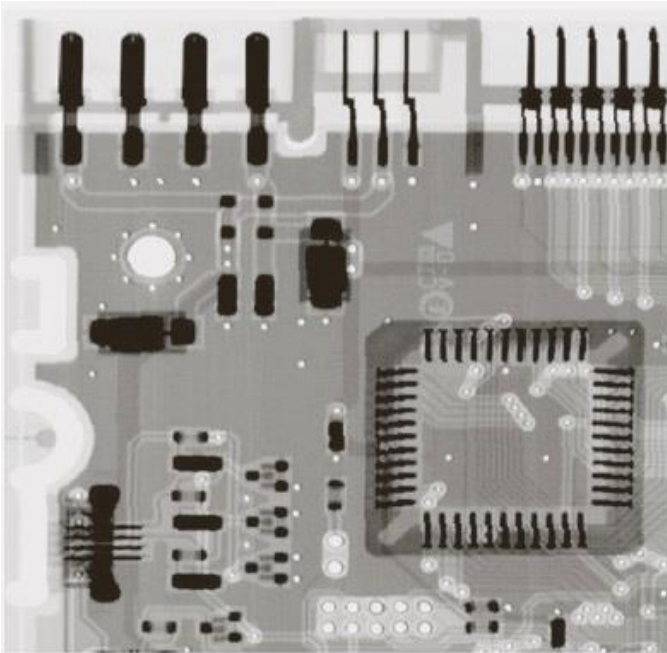
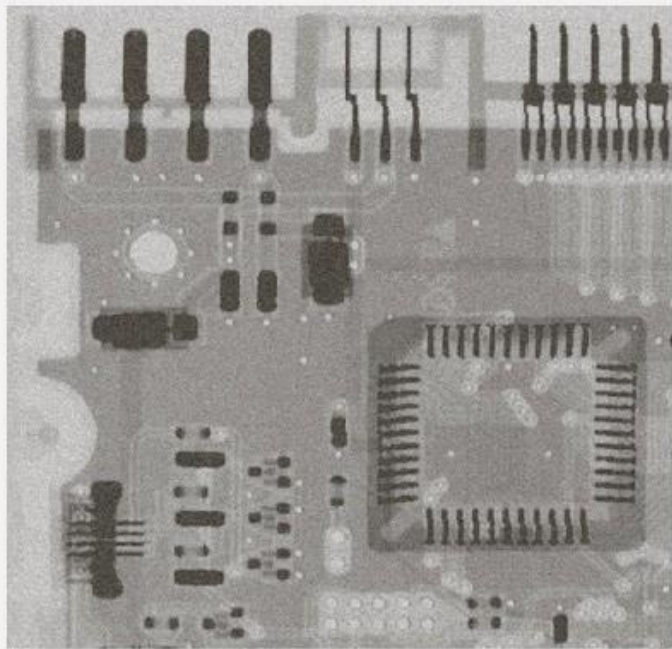
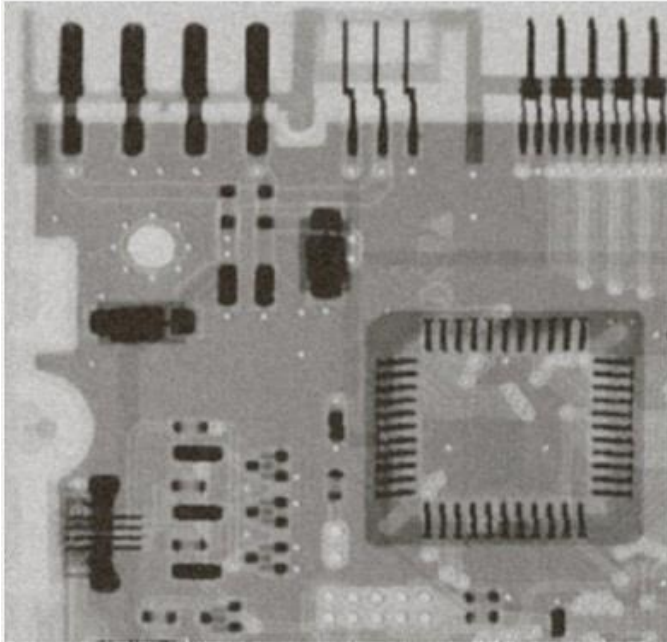


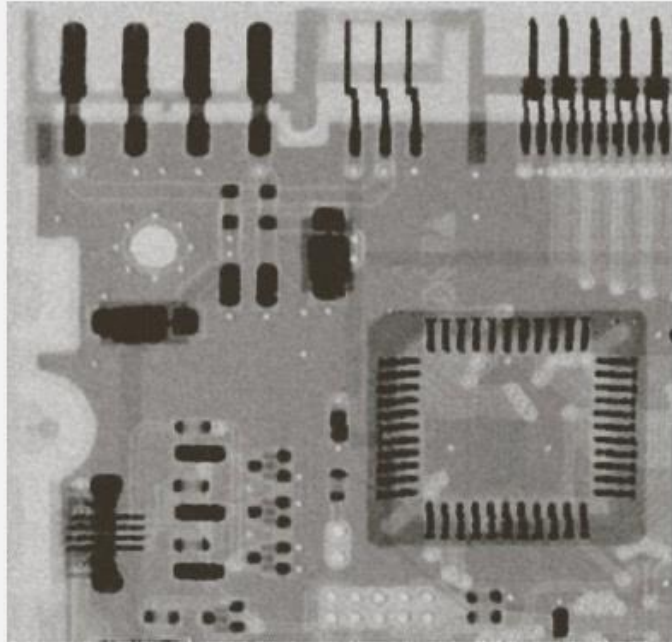
Imagem Corrompida por ruído Gaussiano Aditivo



Filtragem pela Média Aritmética com janela 3x3

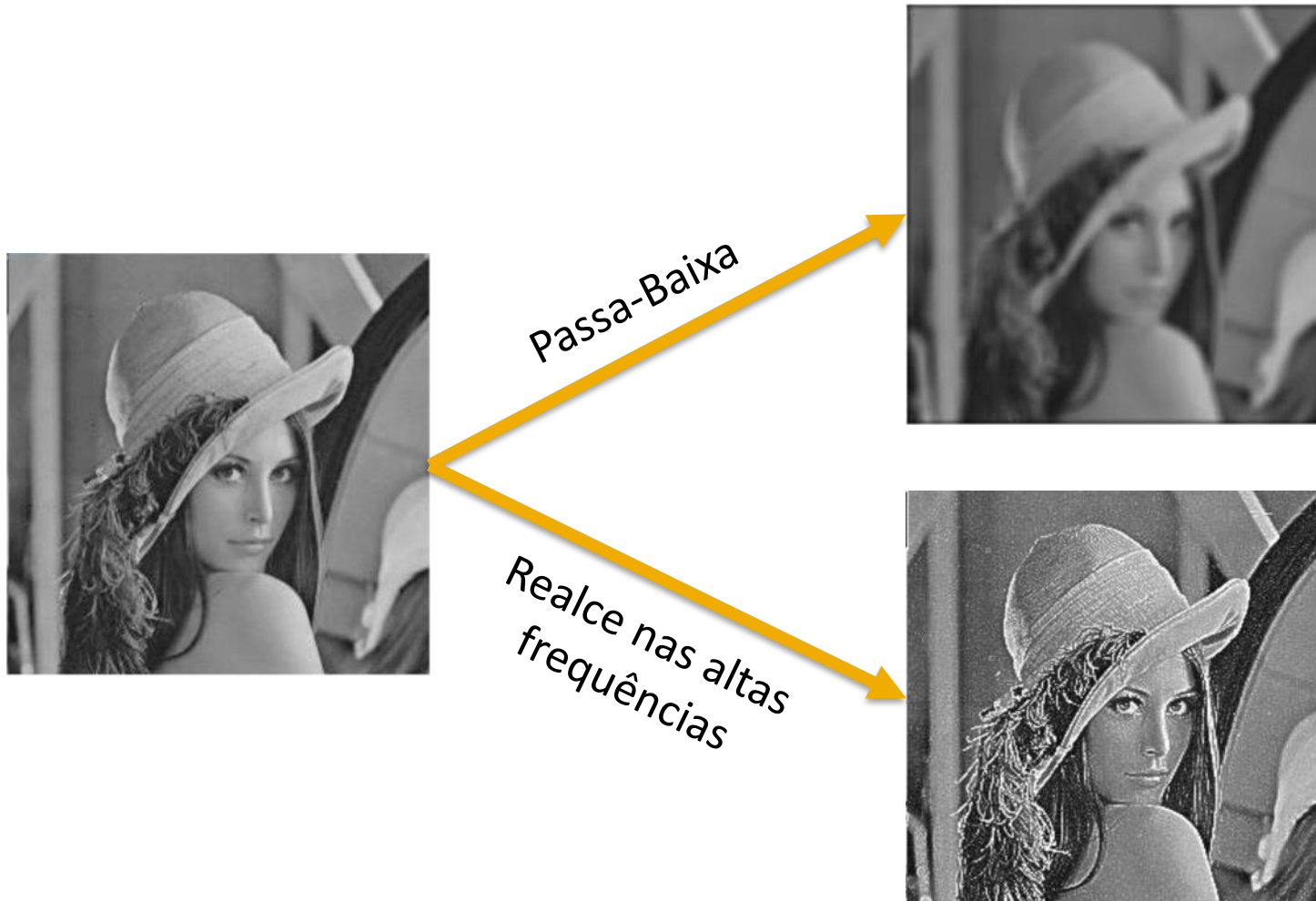


Filtragem pela Média Geométrica com janela 3x3

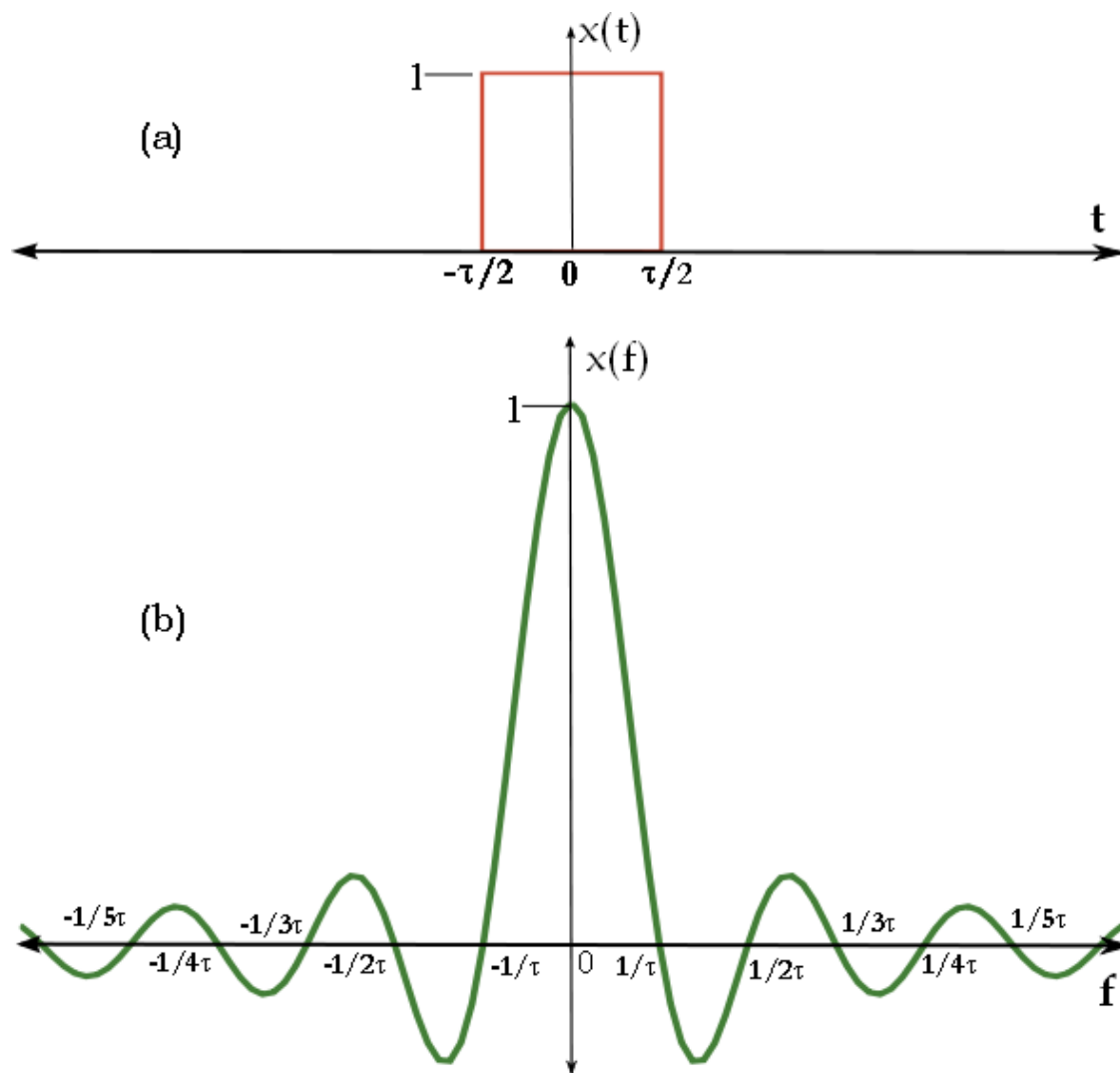




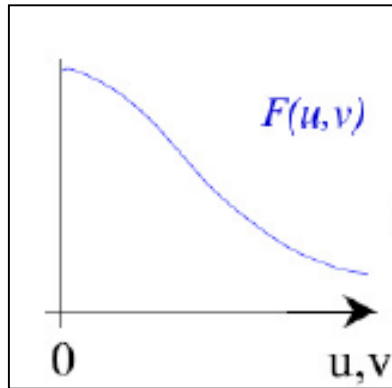
# O ruído é componente de alta frequência?



# Processo de aquisição – passa-baixas

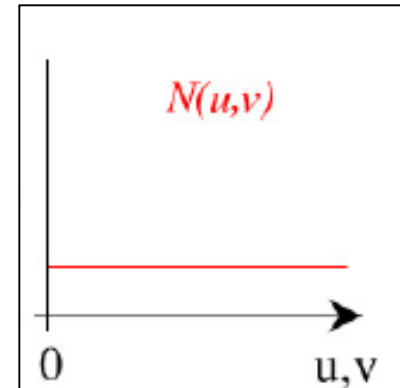


# Sinal x Ruído

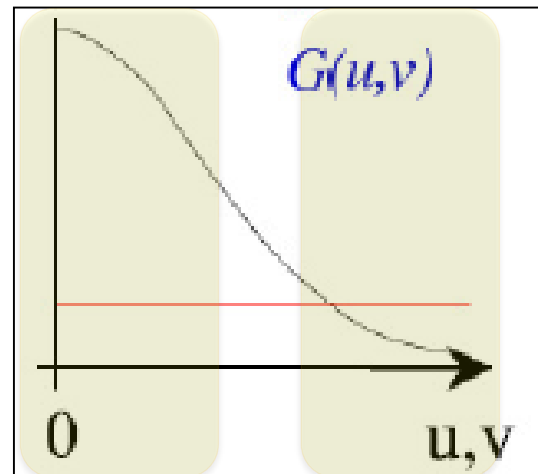


Sinal

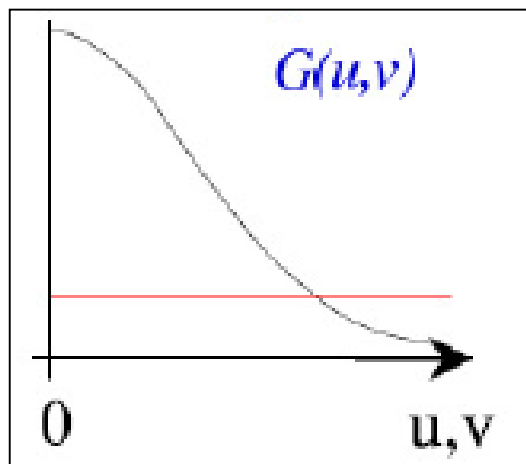
+



Ruído branco



# Sinal x Ruído



Passa-Baixa

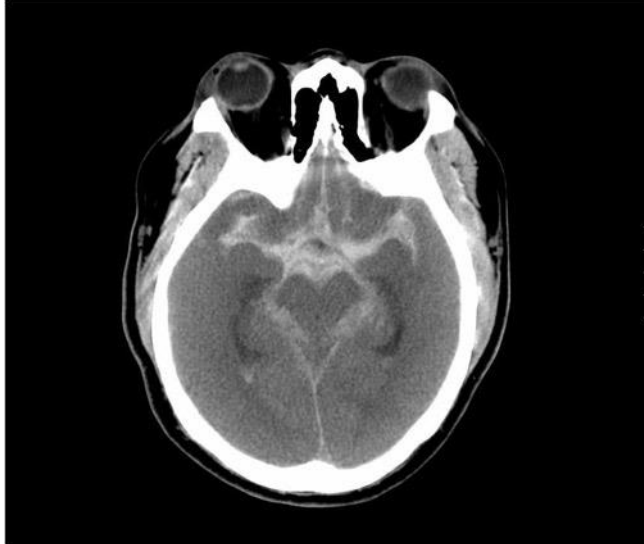


Realce nas altas frequências

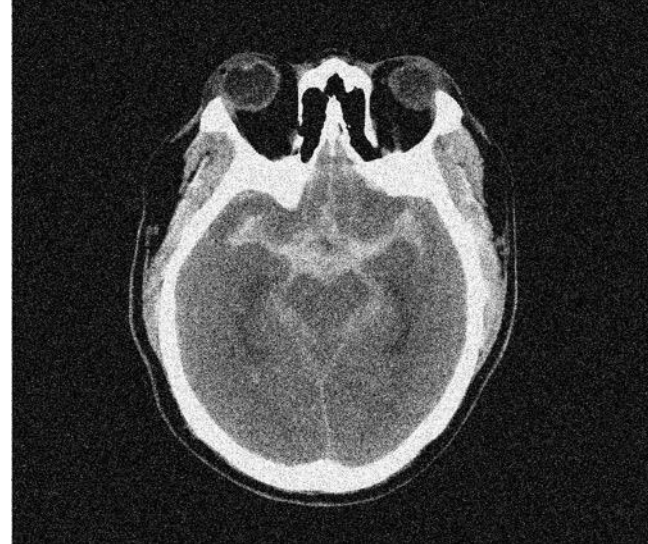


# Filtro da média (aritmética)

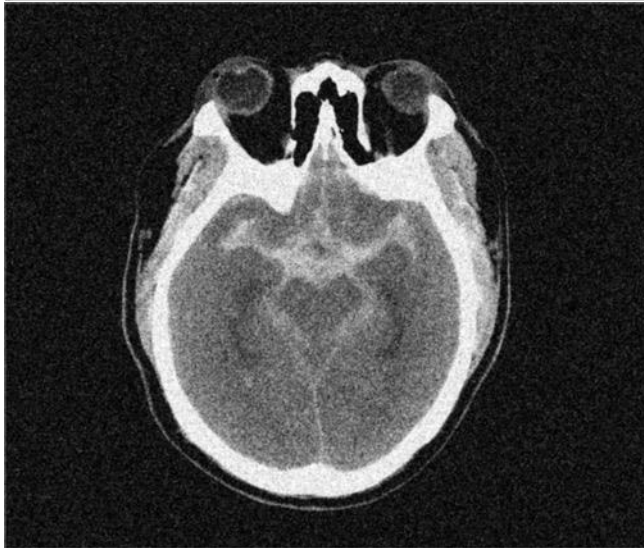
Original



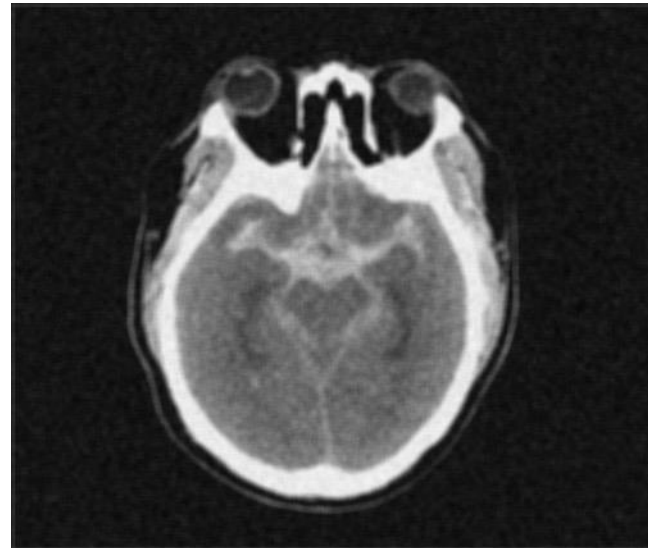
Ruidosa



Média 3x3



Média 9x9



# Por que não funciona tão bem?



# Ruído AWGN



Imagem sem ruído

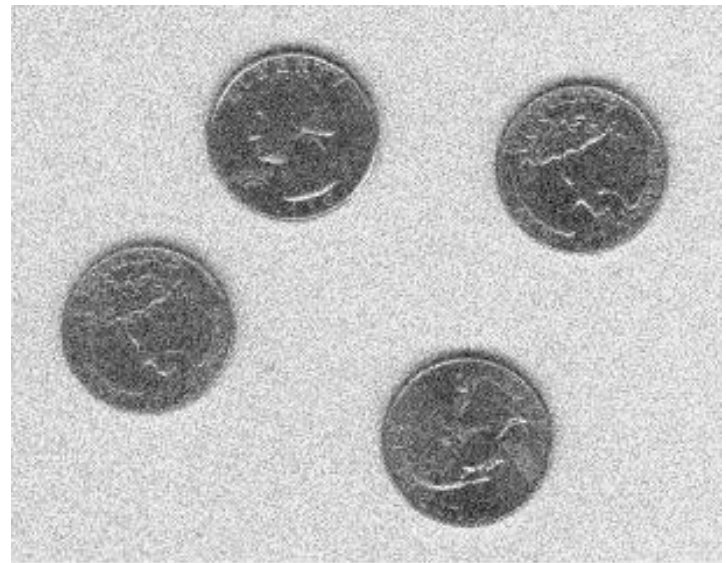


Imagem com ruído  
AWGN

# Histogramas

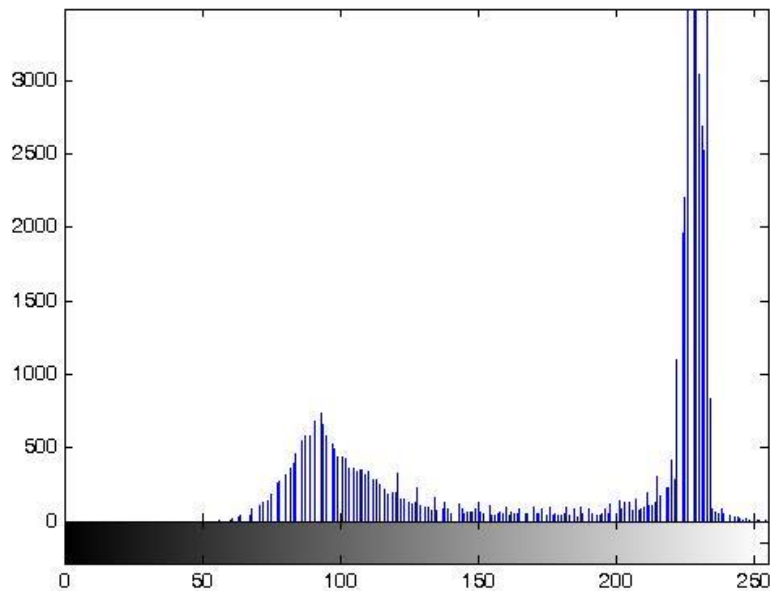


Imagem sem ruído

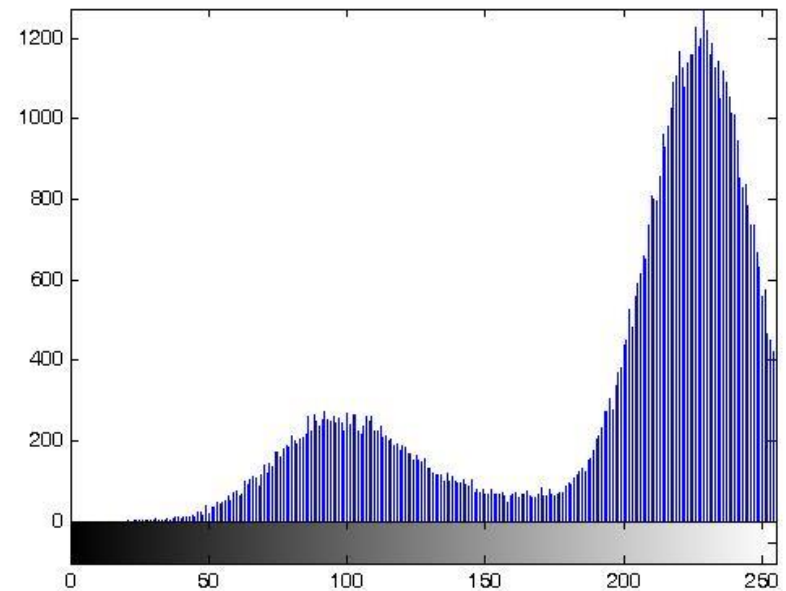


Imagem com ruído  
AWGN

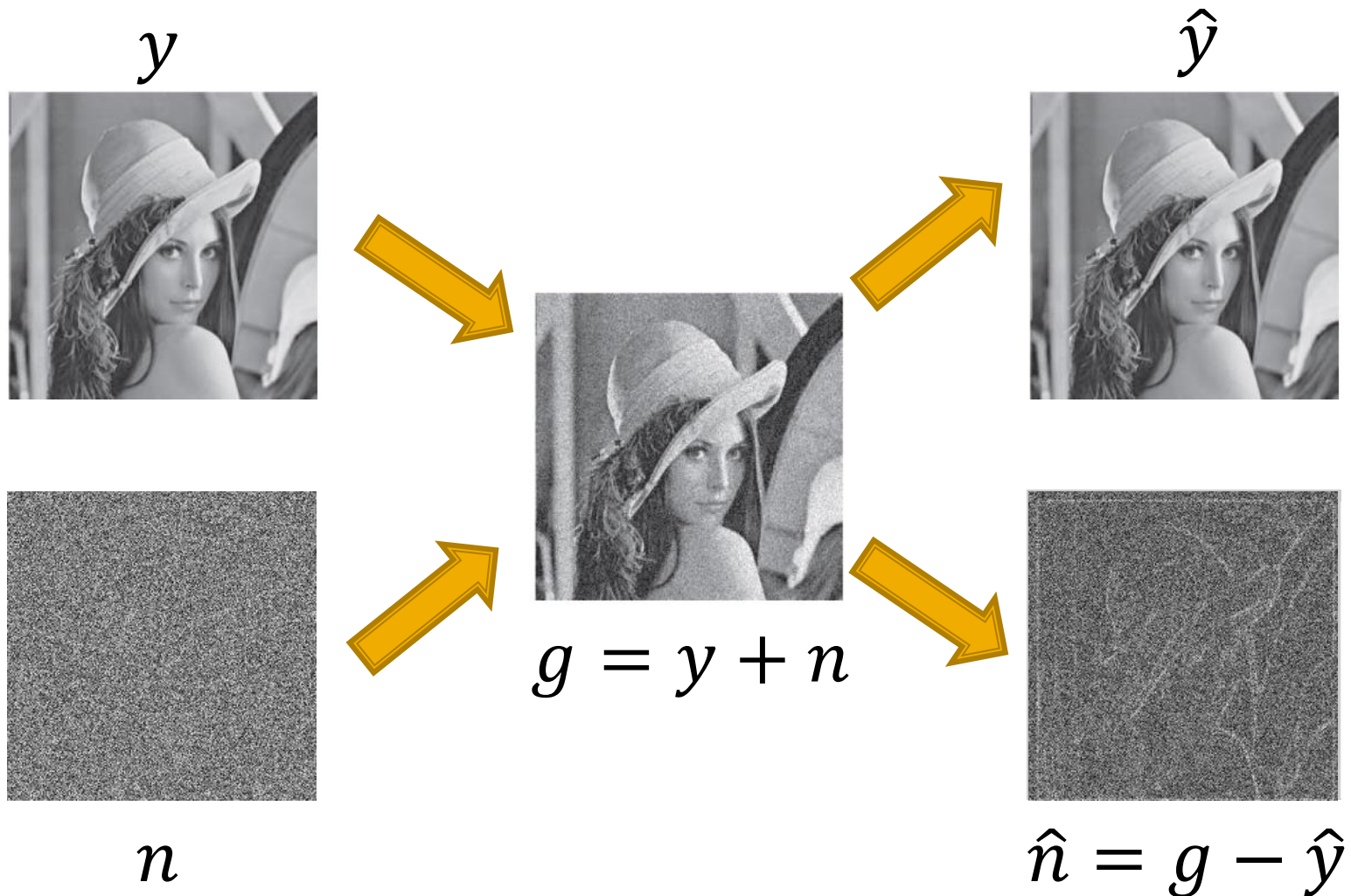
O sinal e o ruído são misturados!



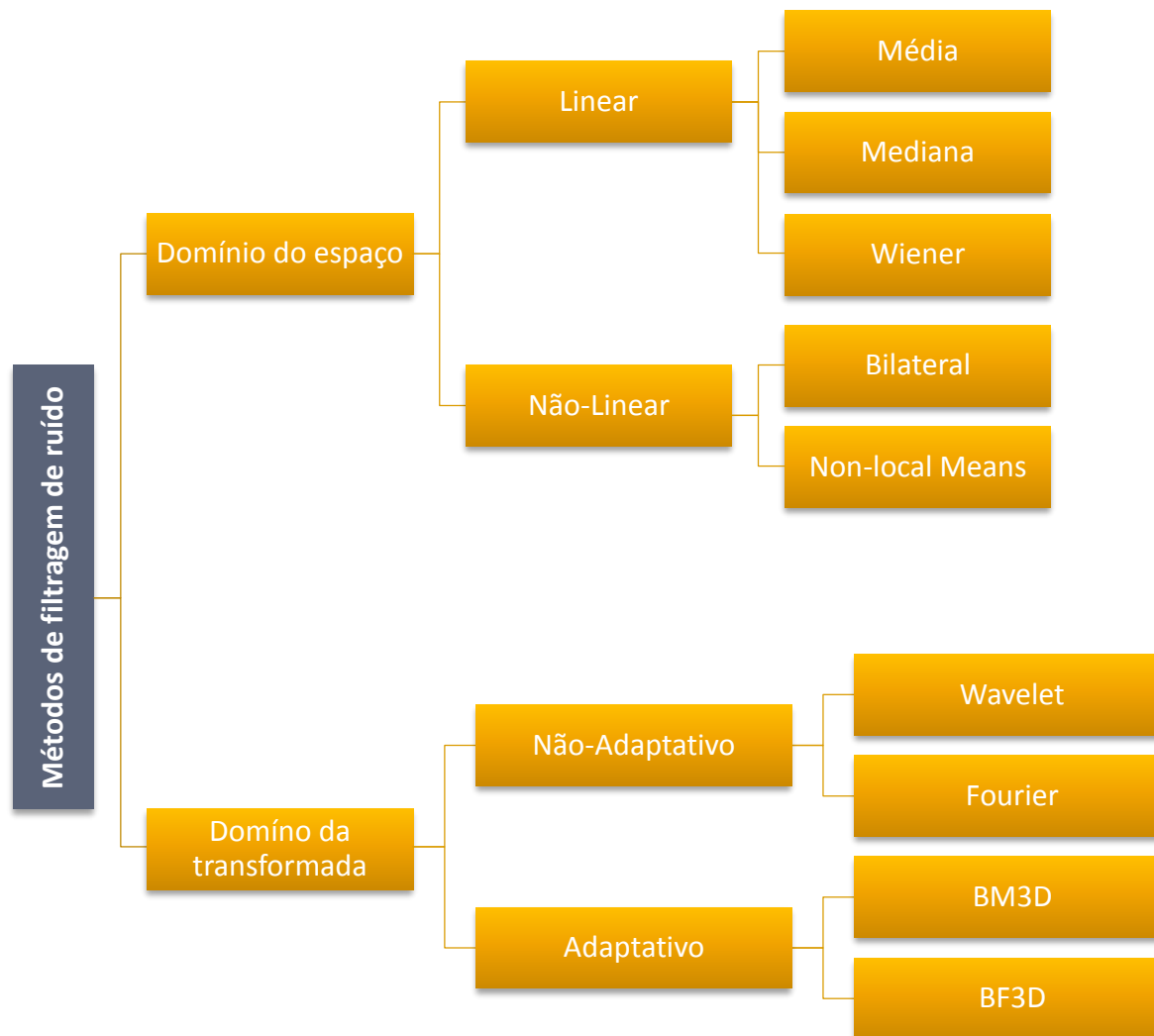
# Filtros de média local

- Quando calculamos a média do ruído, fazemos também a média do sinal;
- Em regiões uniformes funciona bem;
- Em regiões com detalhes não funciona;
- Causa borramento (perda de detalhes).

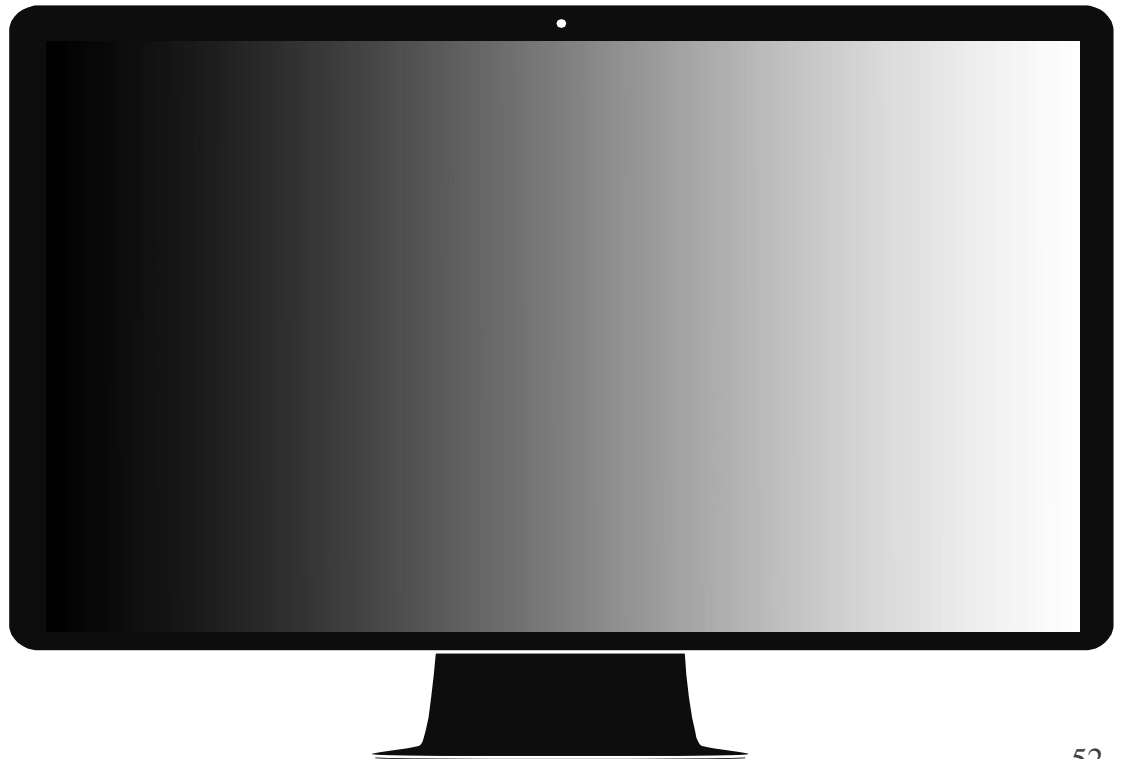
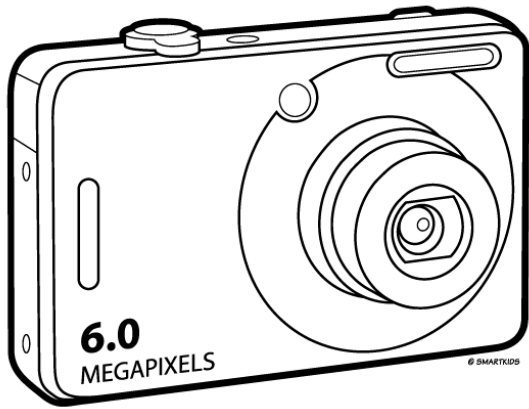
# Problema da filtragem de ruído



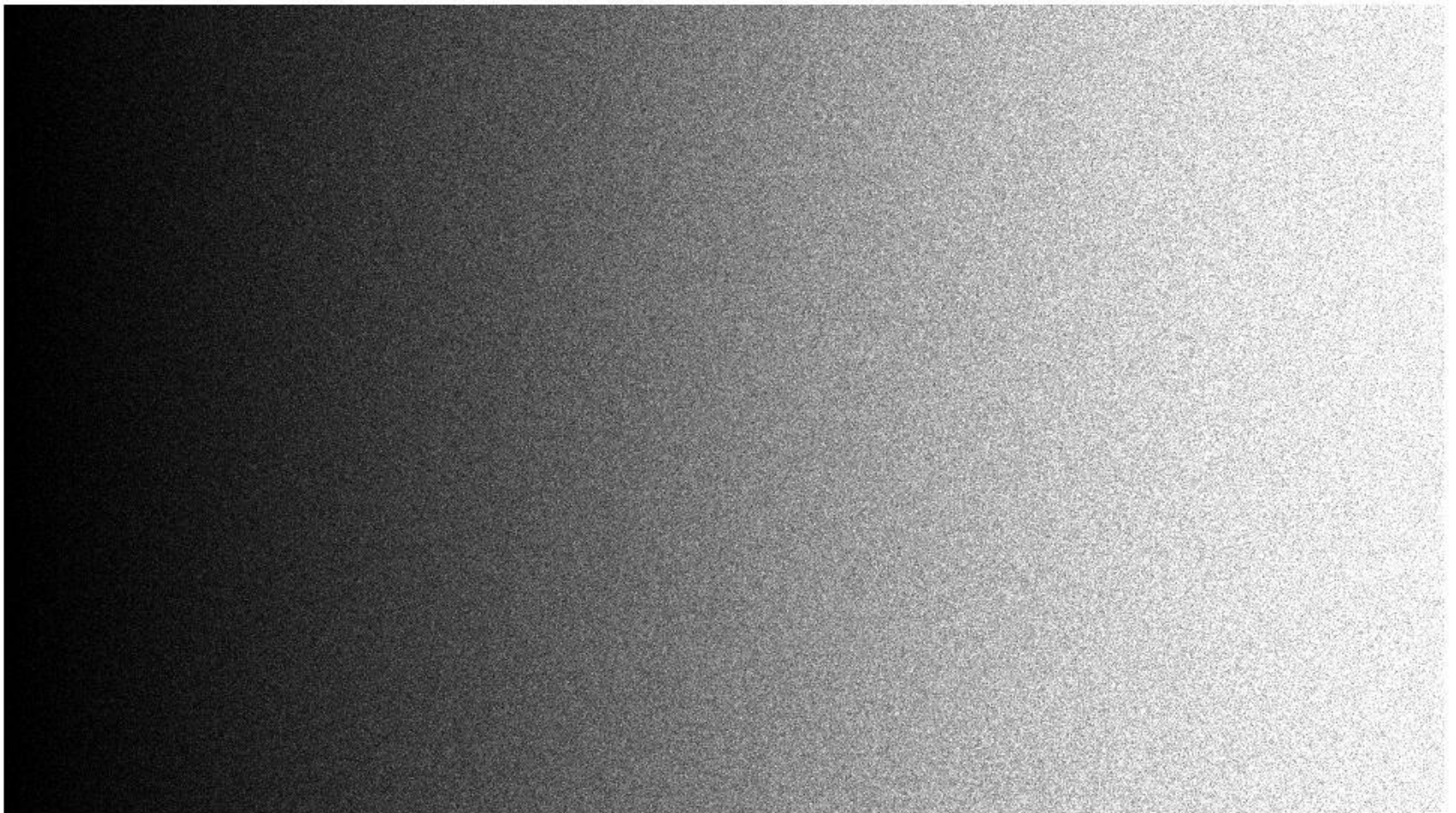
# Métodos para filtragem de ruído



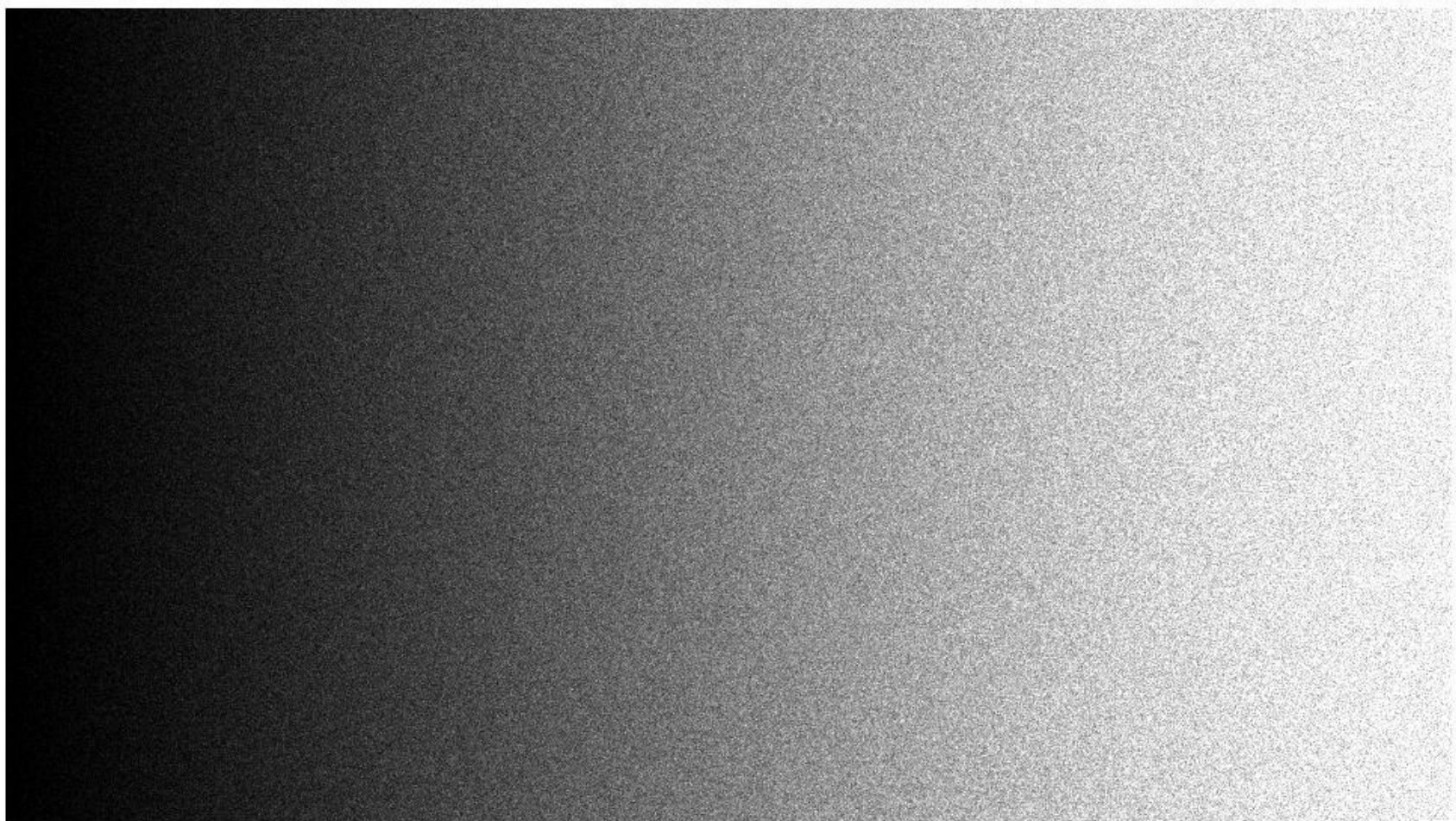
# Método ideal filtragem de ruído



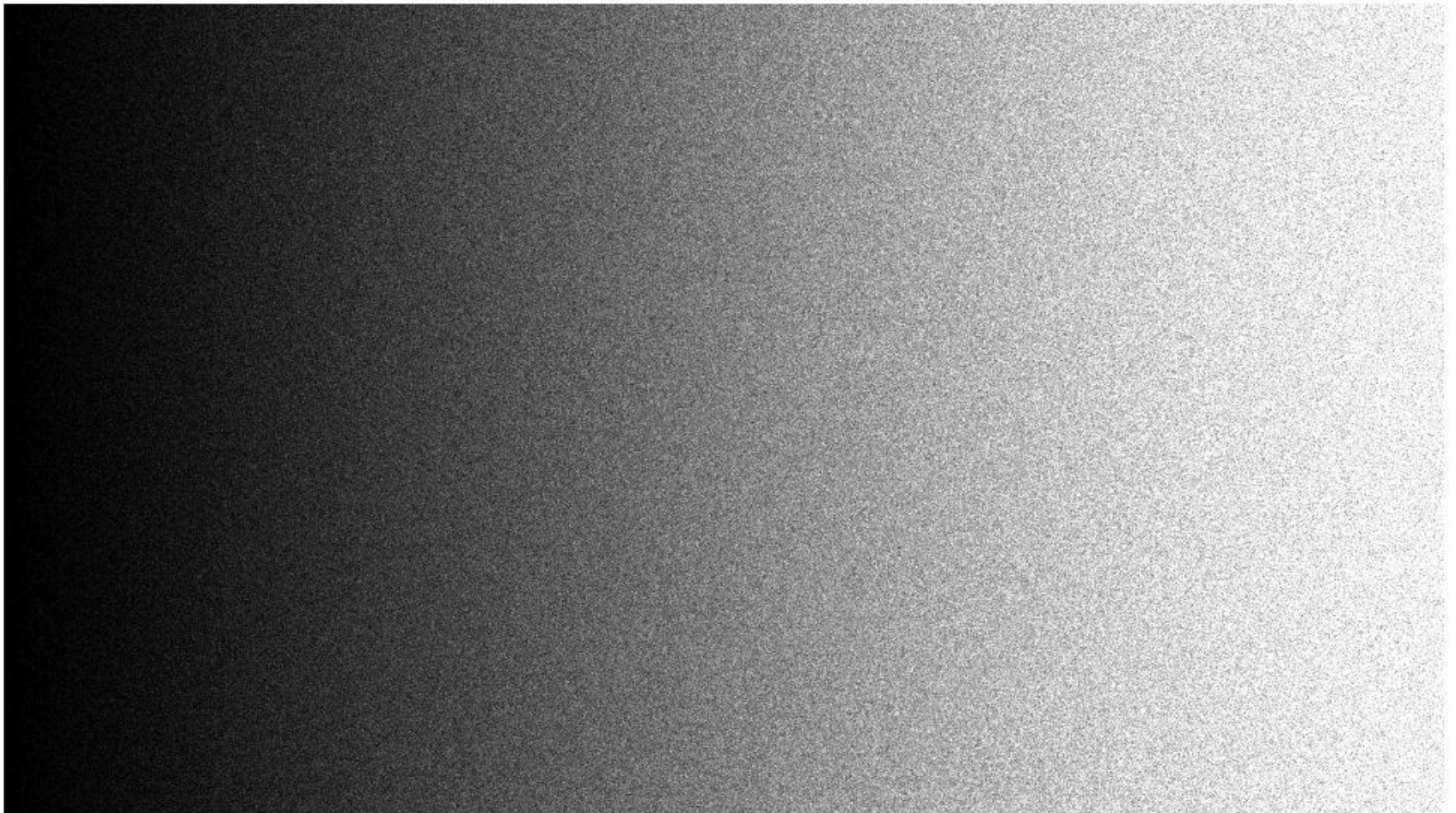
# Fotografia #1



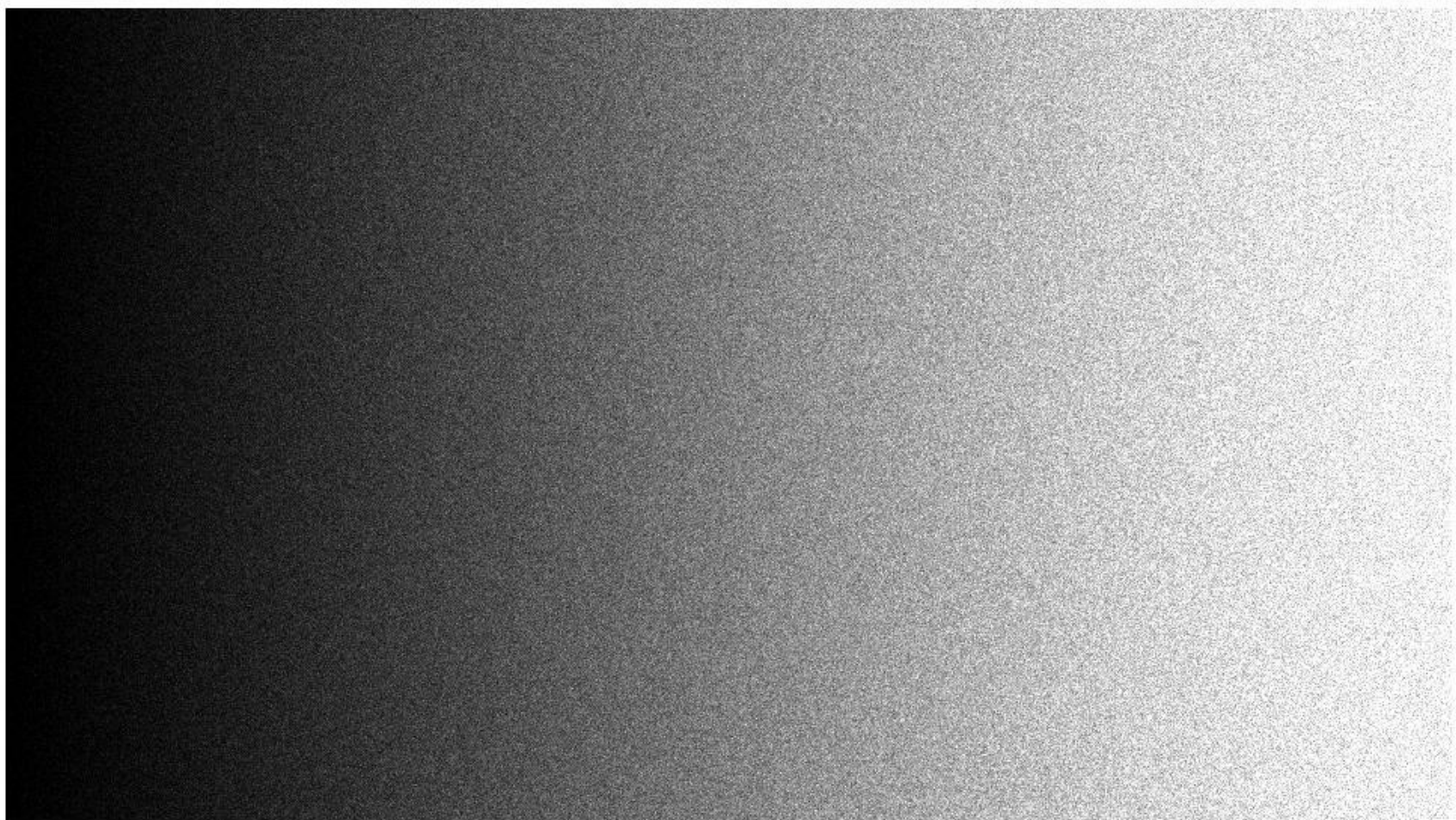
# Fotografia #2



# Fotografia #3



# Fotografia #4





# Média de todas as exposições

$$\frac{1}{N} \sum \text{[Image 1]} + \text{[Image 2]} + \dots + \text{[Image N]}$$

=

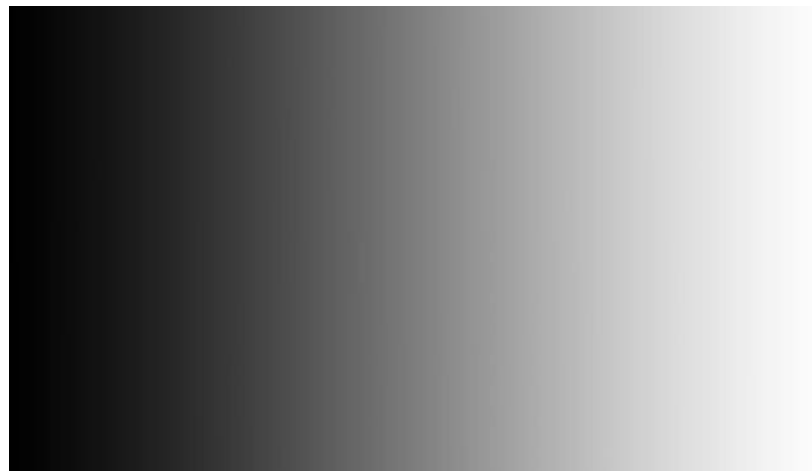


Imagem filtrada

# Problemas?

- Nem sempre é possível obter várias exposições da mesma cena;
- Movimento – causa "borramento";
- Imagens médicas – exposição à radiação;

## Desafio:

- Filtrar o ruído a partir de uma única imagem com o mínimo borramento

# Filtro de média não-local

# Filtro de média não-local



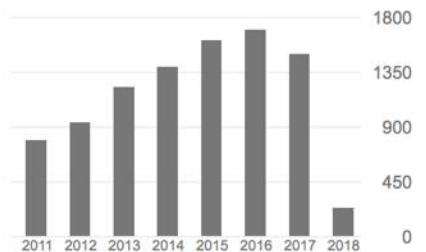
**A. Buades**

Afiliação desconhecida  
E-mail confirmado em uib.es - [Página inicial](#)

✉ SEGUIR

Citado por [VISUALIZAR TODOS](#)

	Todos	Desde 2013
Citações	11094	7697
Índice h	26	25
Índice i10	38	33

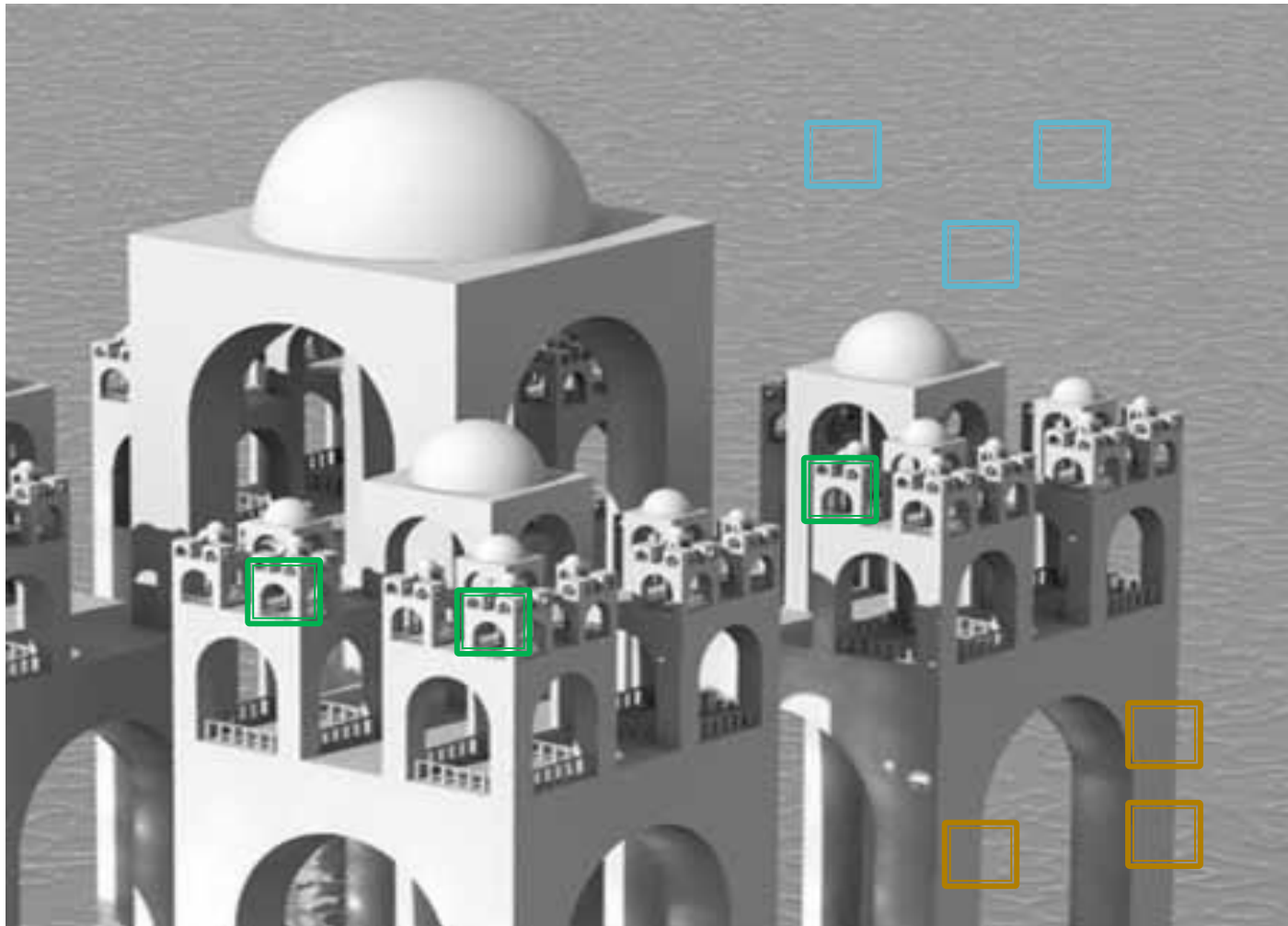


TÍTULO	CITADO POR	ANO
<a href="#">A non-local algorithm for image denoising</a> A Buades, B Coll, JM Morel Computer Vision and Pattern Recognition, 2005. CVPR 2005. IEEE Computer ...	3905	2005
<a href="#">A review of image denoising algorithms, with a new one</a> A Buades, B Coll, JM Morel Multiscale Modeling & Simulation 4 (2), 490-530	3694	2005
<a href="#">Nonlocal image and movie denoising</a> A Buades, B Coll, JM Morel International journal of computer vision 76 (2), 123-139	656	2008
<a href="#">Image denoising methods. A new nonlocal principle</a> A Buades, B Coll, JM Morel SIAM review 52 (1), 113-147	359	2010
<a href="#">The staircasing effect in neighborhood filters and its solution</a> A Buades, B Coll, JM Morel IEEE transactions on Image Processing 15 (6), 1499-1505	231	2006
<a href="#">Neighborhood filters and PDE's</a> A Buades, B Coll, JM Morel Numerische Mathematik 105 (1), 1-34	182	2006
<a href="#">Denoising image sequences does not require motion estimation</a> A Buades, B Coll, JM Morel Advanced Video and Signal Based Surveillance, 2005. AVSS 2005. IEEE ...	174	2005

# Algoritmo Non-Local Means

- **Premissa principal:** Imagem é redundante.
  - Pequenas regiões tendem a se repetir ao longo da imagem, não necessariamente próximas umas das outras.
- **Portanto:** Buscar por amostras em toda a imagem.
  - Não apenas na vizinhança do pixel sendo processado.

# Algoritmo Non-Local Means



# Algoritmo Non-Local Means

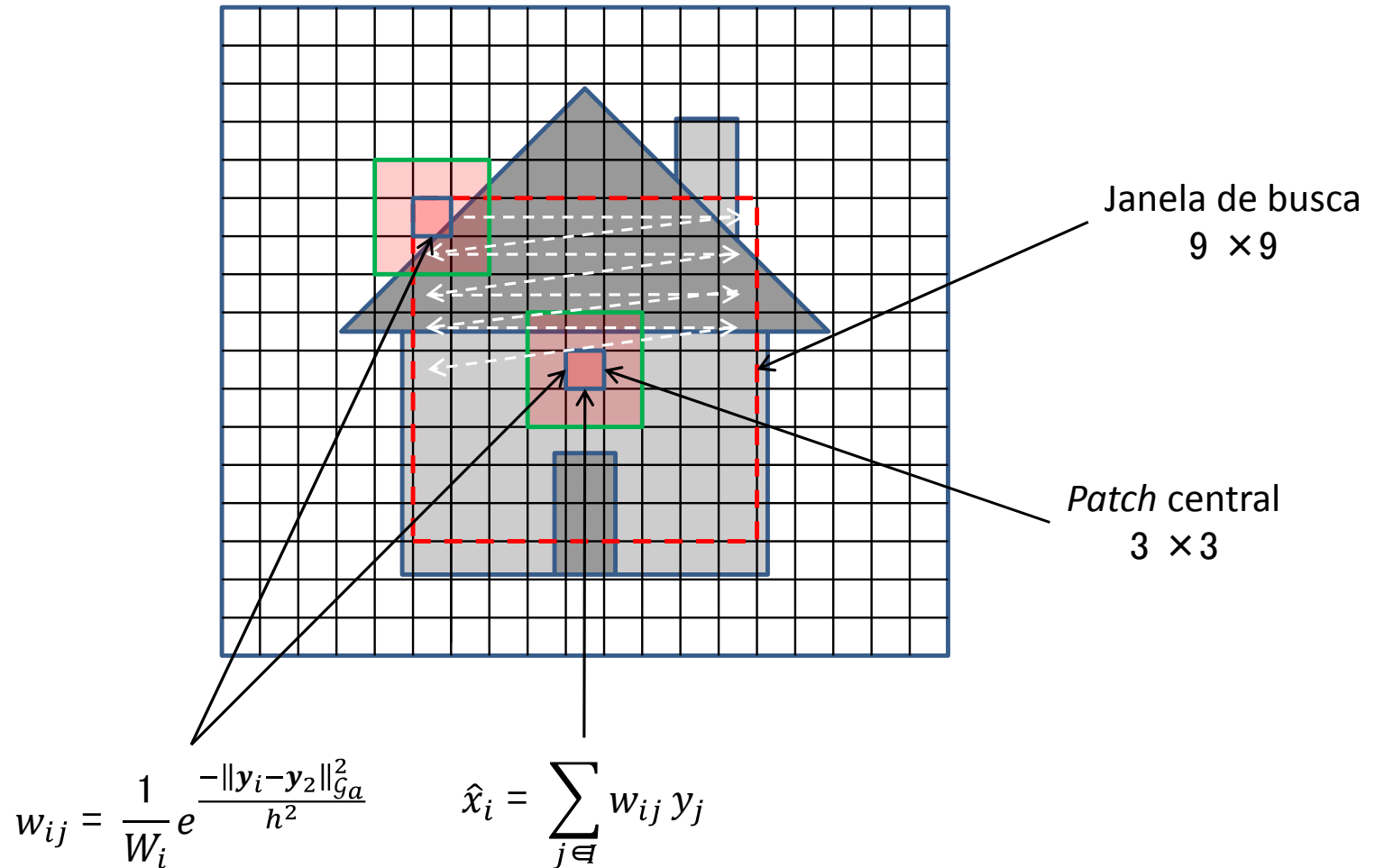
- Estima o valor de um pixel como a média ponderada de todos os outros pixels.

$$\hat{x}_i = \sum_{j \in I} w_{ij} y_j$$

- Os coeficientes do filtro se adaptam aos dados (filtro variante no espaço).

$$w_{ij} = \frac{1}{W_i} e^{\frac{-\|y_i - y_j\|_{G_a}^2}{h^2}}$$

# Algoritmo Non-Local Means





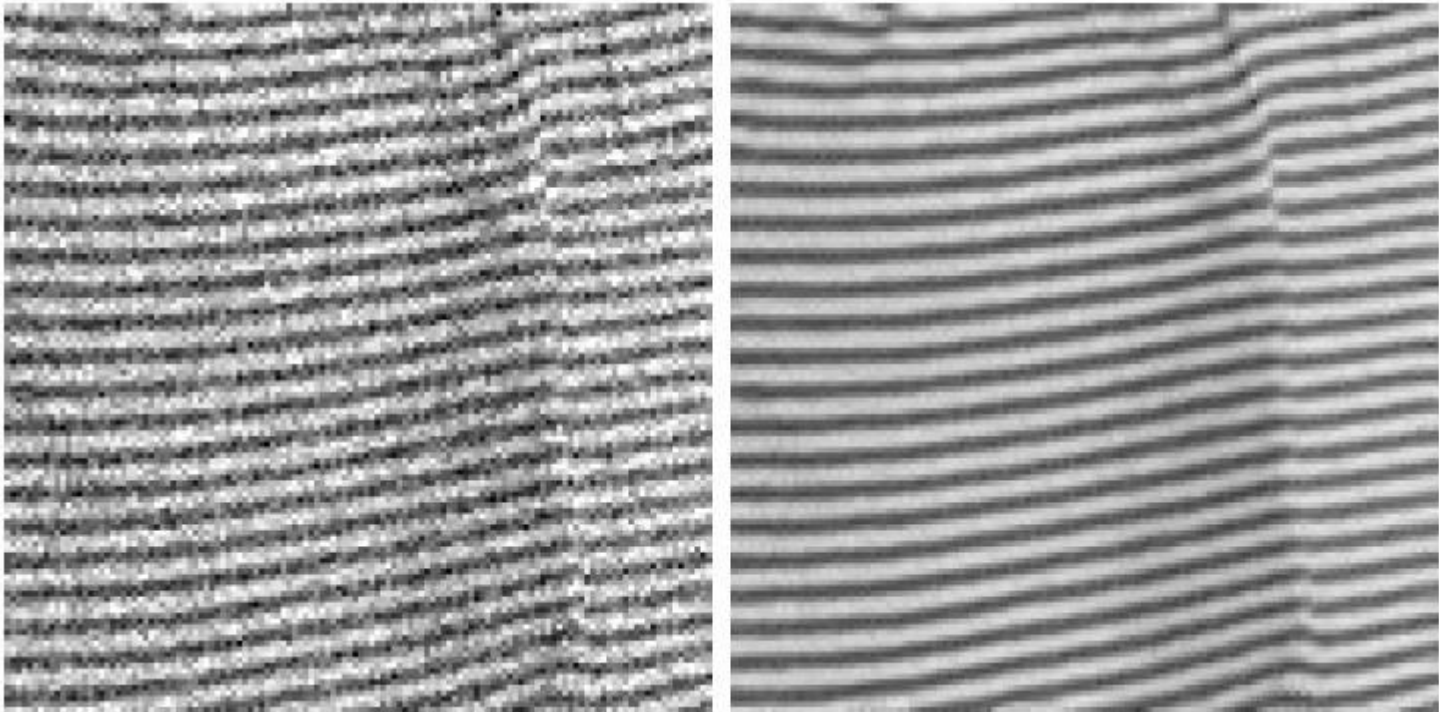
# Algoritmo Non-Local Means

- Imagem natural com  $\sigma = 20$ .



# Algoritmo Non-Local Means

Imagem quase periódica com  $\sigma = 30$ .



# Resultados comparativos

Imagem ruidosa



Média local



Filtragem  
Anisotrópica



Total Variation



**NLM**

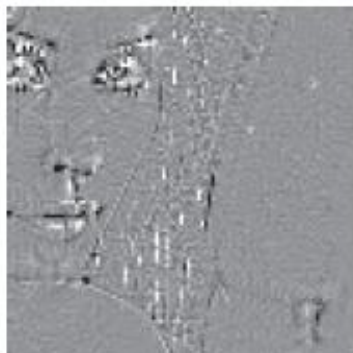


# Resultados comparativos - resíduos

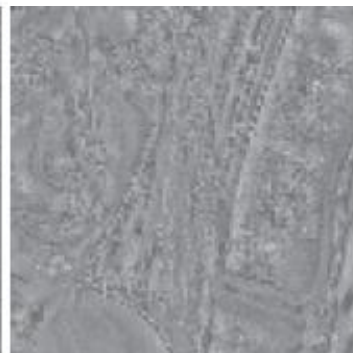
Média local



Filtragem Anisotrópica



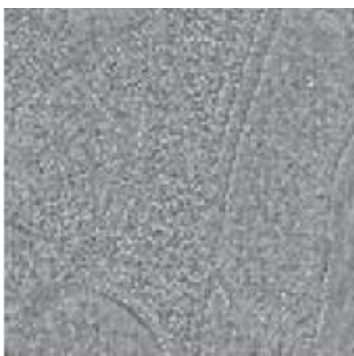
Filtro Bilateral



NLM



Wiener



Wavelet (hard)



Wavelet (soft)



# Block-Matching 3D – BM3D



**Alessandro Foi**

Associate Professor at [Tampere University of Technology](#)  
E-mail confirmado em tut.fi - [Página inicial](#)

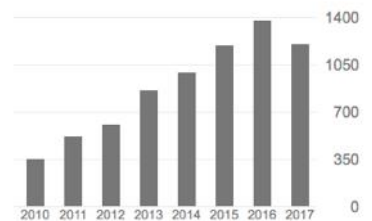
[Image Processing](#) [Signal Processing](#) [Noise](#) [Denoising](#) [Applied Statistics](#)

SEGUINDO

TÍTULO	CITADO POR	ANO
<a href="#">Image denoising by sparse 3-D transform-domain collaborative filtering</a> K Dabov, A Foi, V Katkovnik, K Egiazarian IEEE Transactions on Image Processing 16 (8), 2080-2095	3427	2007
<a href="#">Pointwise shape-adaptive DCT for high-quality denoising and deblocking of grayscale and color images</a> A Foi, V Katkovnik, K Egiazarian IEEE Transactions on Image Processing 16 (5), 1395-1411	468	2007
<a href="#">Practical Poissonian-Gaussian noise modeling and fitting for single-image raw-data</a> A Foi, M Trimeche, V Katkovnik, K Egiazarian IEEE Transactions on Image Processing 17 (10), 1737-1754	337	2008
<a href="#">From local kernel to nonlocal multiple-model image denoising</a> V Katkovnik, A Foi, K Egiazarian, J Astola International journal of computer vision 86 (1), 1-32	331	2010
<a href="#">Image denoising with block-matching and 3 D filtering</a> K Dabov, A Foi, V Katkovnik, K Egiazarian Proceedings of SPIE 6064 (30), 606414-606414	303	2006
<a href="#">BM3D image denoising with shape-adaptive principal component analysis</a> K Dabov, A Foi, V Katkovnik, K Egiazarian SPARS '09 - Signal Processing with Adaptive Sparse Structured ...	261	2009
<a href="#">Image restoration by sparse 3D transform-domain collaborative filtering</a> K Dabov, A Foi, V Katkovnik, K Egiazarian SPIE Electronic Imaging 6812 (6812-1D)	214	2008
<a href="#">A Nonlocal Transform-Domain Filter for Volumetric Data Denoising and Reconstruction</a> M Maggioni, V Katkovnik, K Egiazarian, A Foi IEEE Transactions on Image Processing 22 (1), 1057-7149	206	2013
<a href="#">Optimal inversion of the Anscombe transformation in low-count Poisson image denoising</a> M Mäkitalo, A Foi IEEE Transactions on Image Processing 20 (1), 99-109	181	2011

Citado por [VISUALIZAR TODOS](#)

	Todos	Desde 2012
Citações	7835	6261
Índice h	31	27
Índice i10	61	45



Coautores [VISUALIZAR TODOS](#)

- Karen Egiazarian**  
Professor of Signal Processing, ... >
- Giacomo Boracchi**  
Assistant Professor, Politecnico ... >
- Matteo Maggioni**  
Imperial College London >
- Aram Danielyan**  
Tampere University of Technology >
- Sakari Alenius**  
Imaging Systems Engineer, Intel >
- Lucio Azzari**  
Tampere University of Technology >
- Dmytro Paliy**  
Imaging System Engineer, Intel >
- Jussi Tohka**  
University of Eastern Finland, FI... >

# Algoritmo NLM

- Limitações:

- Compara *patches* ruidosos.

$$E \left[ \|\mathbf{y}_i - \mathbf{y}_j\|_{2,a}^2 \right] = \|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j\|_{2,a}^2 + 2\sigma^2$$

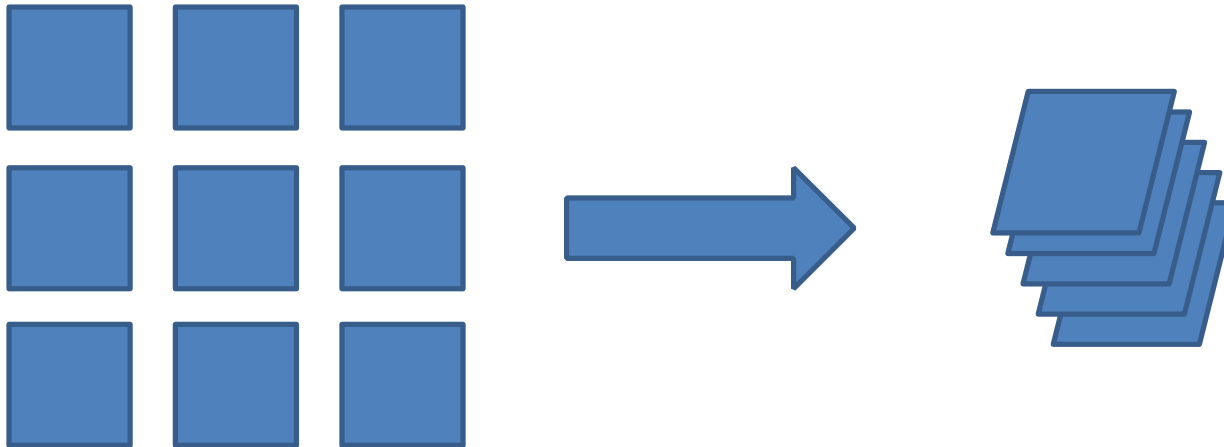
- **Intuitivamente:** Quanto maior a janela de busca, melhor serão os resultados.
  - **Na prática:** Introduce um número maior de amostras não similares com peso não zero na estimativa (SALMON, 2010).
- Resultados tendem a ser inferiores para conteúdo “menos redundante”.

# Block Match 3-D

- Proposto por (DABOV et al., 2007).
  - Também explora a redundância inerente de imagens naturais e nos conceitos fundamentais do algoritmo NLM.
  - Se difere por também explorar a esparsidade e a filtragem colaborativa do sinal.
  - É atualmente conhecido como um algoritmo de estado-da-arte.

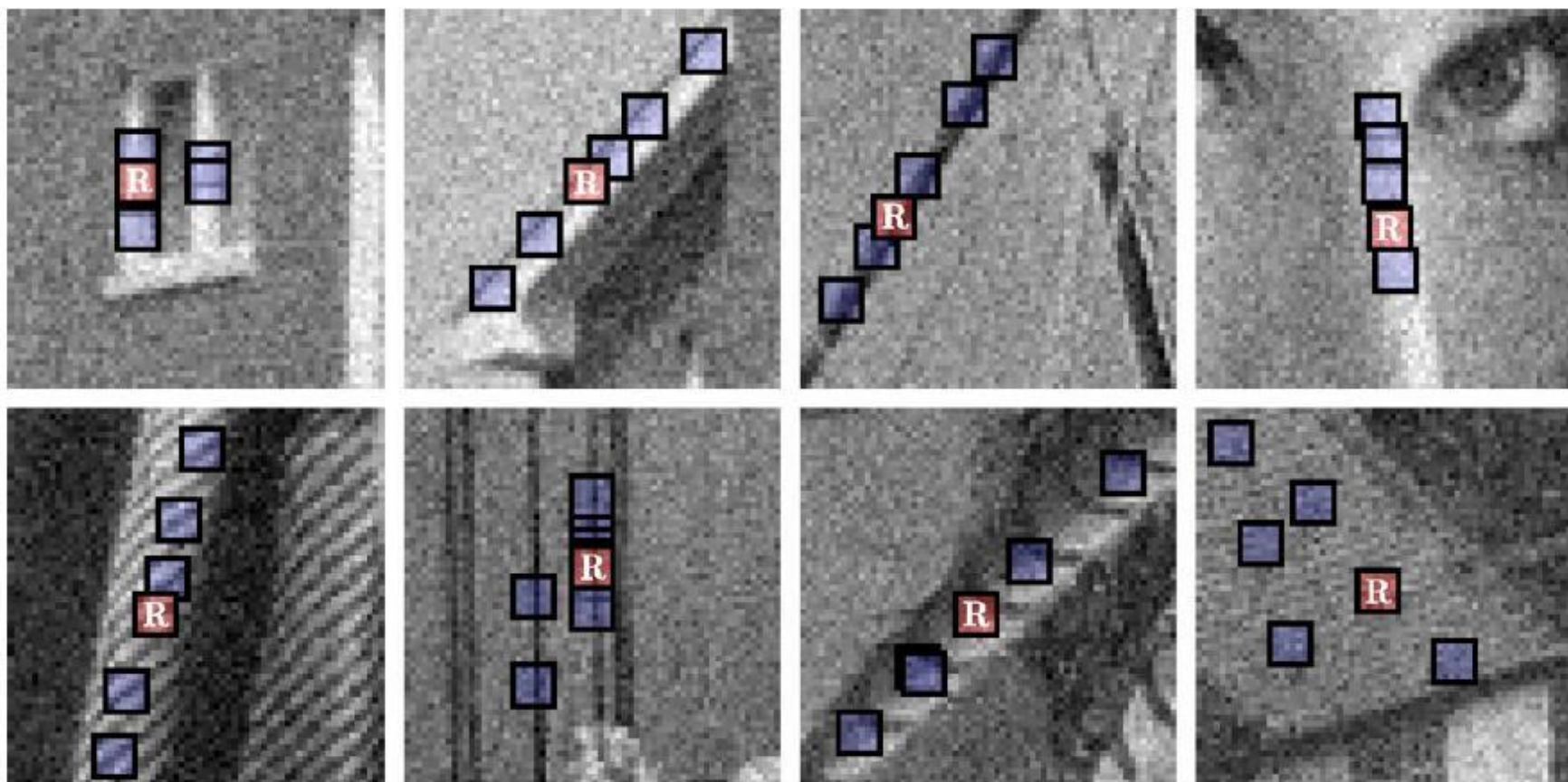
# Block Match 3-D

- **Ideia básica:** Agrupar fragmentos 2-D similares (blocos) em um *array* 3-D (grupo ou pilha).
  - Agrupar fragmentos de um sinal  $d$ -dimensional em uma estrutura de dados  $d + 1$ -dimensional.
  - Quando os blocos possuem mesmo tamanho e formato, o grupo é conhecido como um cilindro generalizado.





# Block-Matching 3D – BM3D



# Block-Matching 3D – BM3D

Imagem ruidosa



$\sigma$

Pré - Estimativa



#1 – Filtragem  
Wavelet

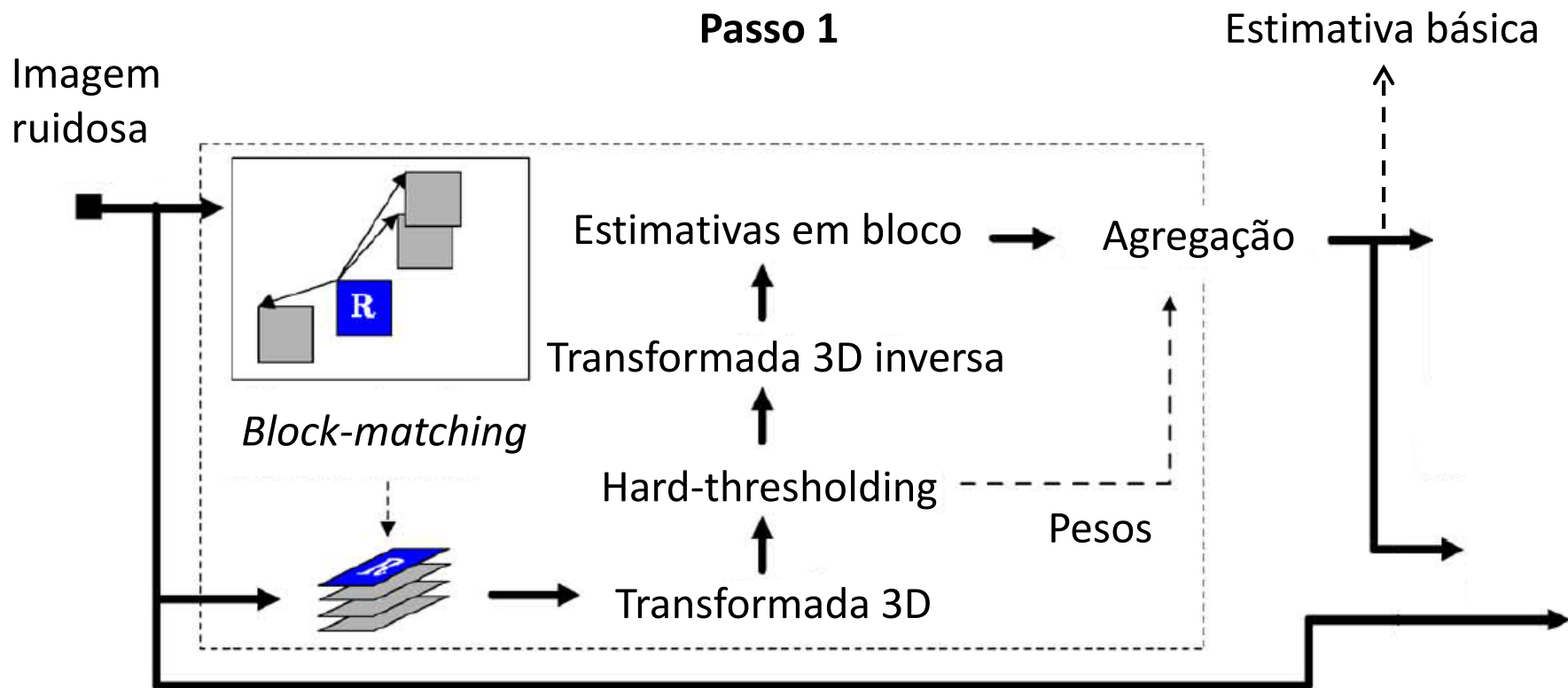
(Hard-thresholding)

#2 – Filtragem  
Wiener

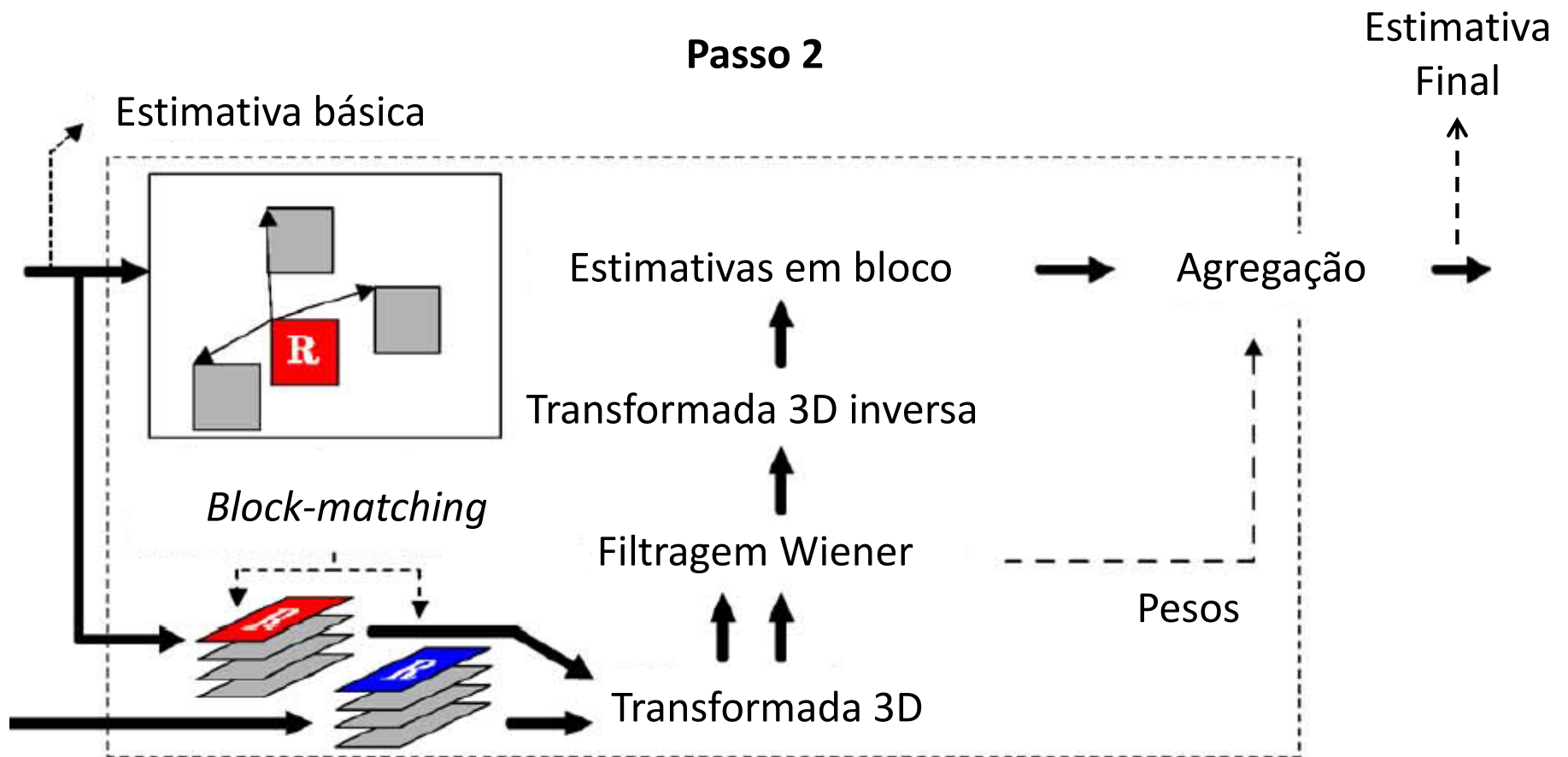
Estimativa final



# Block-Matching 3D – BM3D



# Block-Matching 3D – BM3D



# Block-Matching 3D – BM3D



# Block-Matching 3D – BM3D



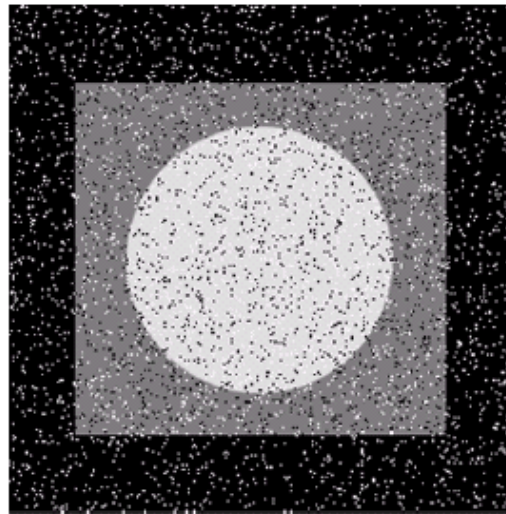
# Block-Matching 3D – BM3D



# **Ruído impulsivo ("sal e pimenta")**



# Ruído impulsivo



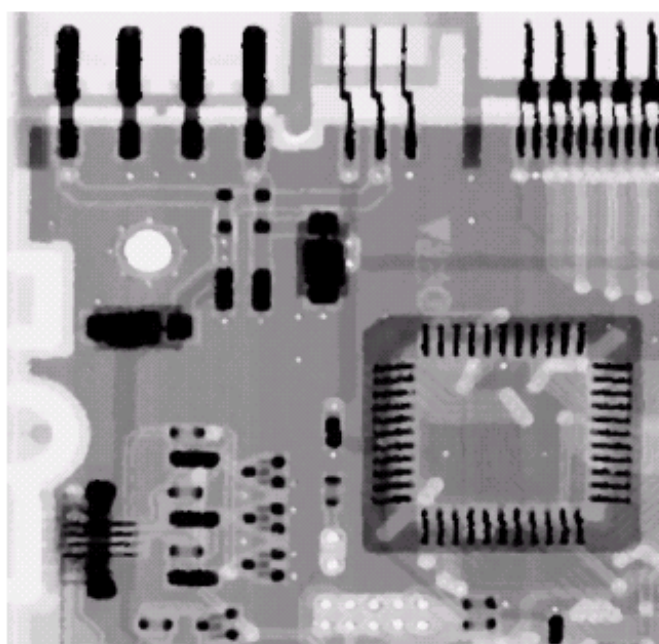
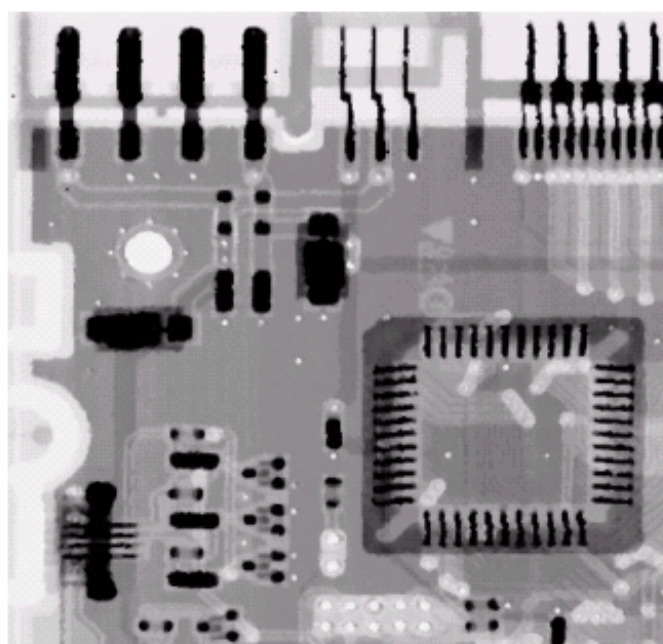
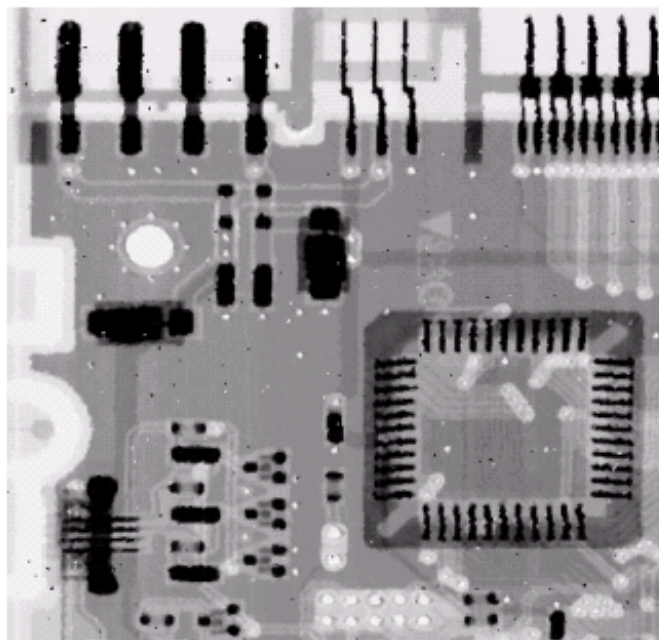
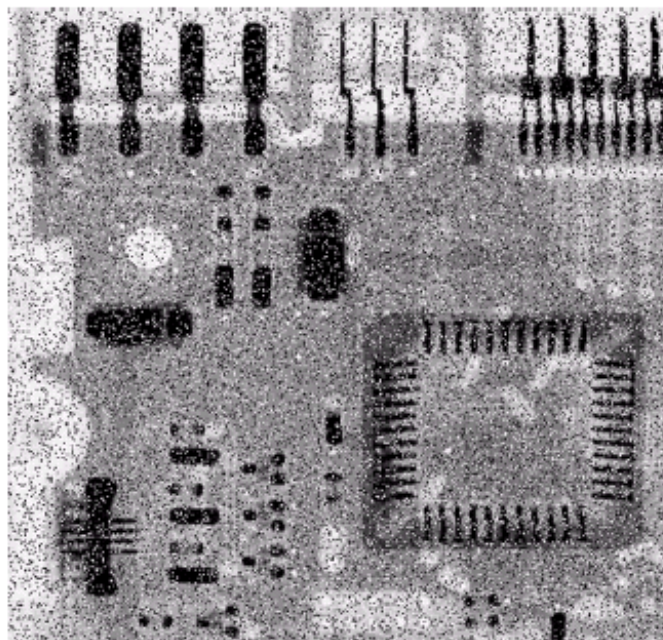
Salt & Pepper



a b  
c d

**FIGURE 5.10**

(a) Image corrupted by salt-and-pepper noise with probabilities  $P_a = P_b = 0.1$ .  
(b) Result of one pass with a median filter of size  $3 \times 3$ .  
(c) Result of processing (b) with this filter.  
(d) Result of processing (c) with the same filter.



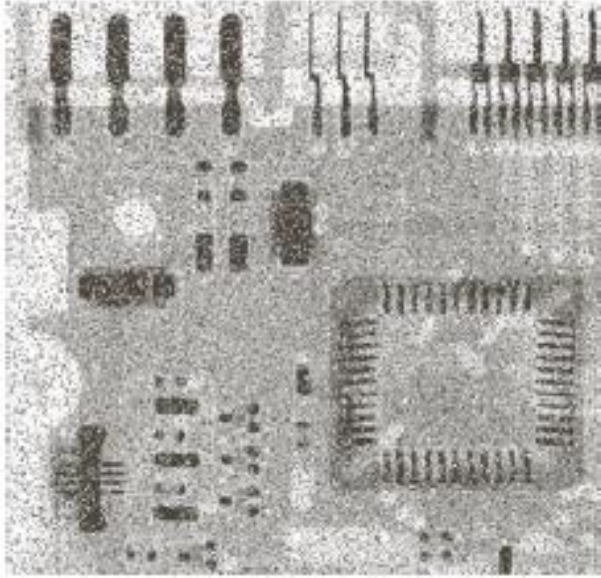
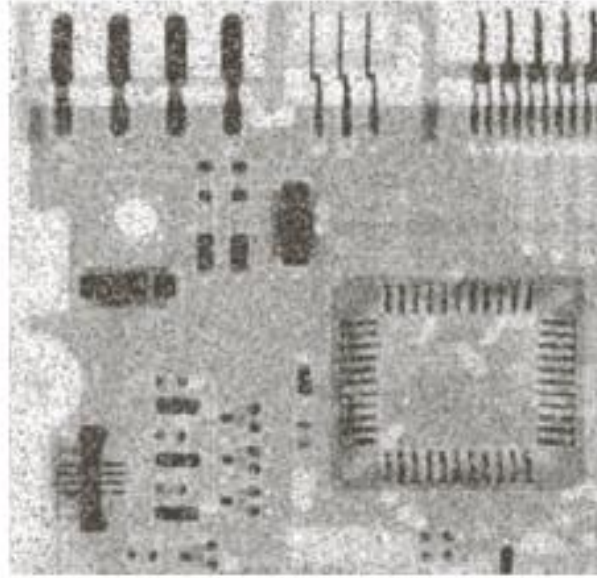
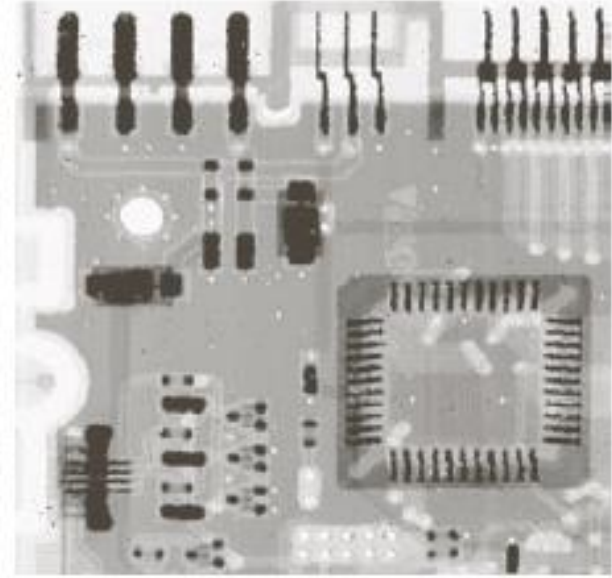


Imagem com ruído  
“sal e pimenta”



Média da Vizinhança 3 x 3



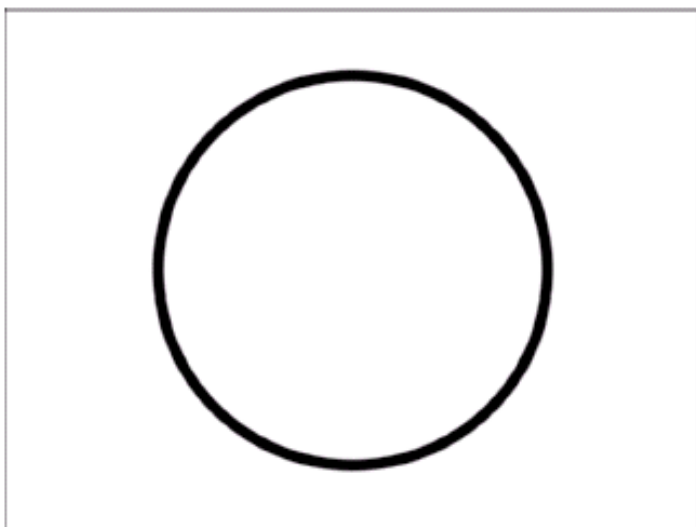
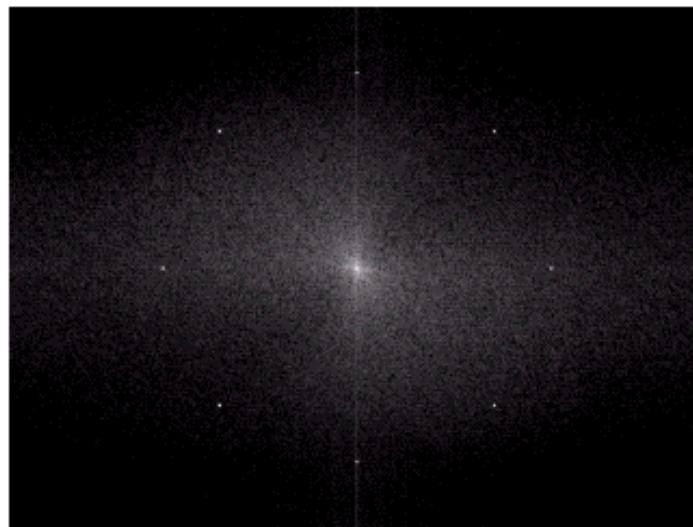
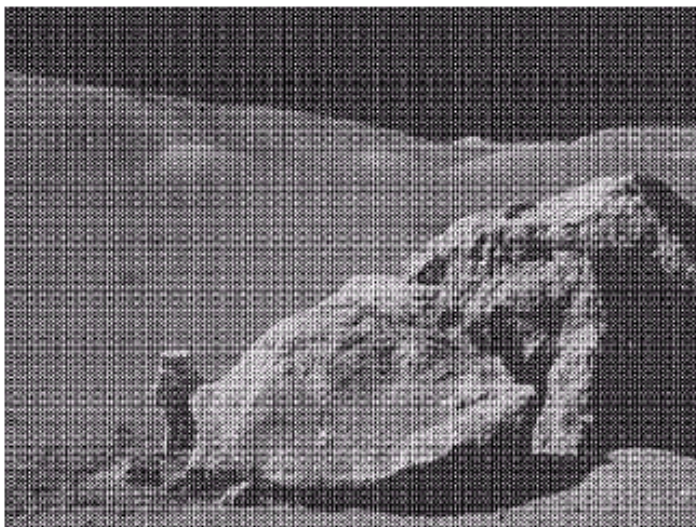
Filtragem Mediana 3 x 3

# Ruído periódico

# Ruído periódico

- Causado por interferências eletromagnéticas ou mecânicas
- Remover ruído periódico - filtros no domínio da frequência:
  - Rejeita Banda
  - Notch

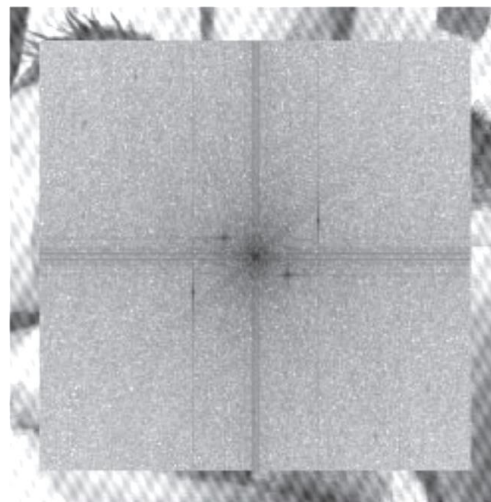
# Filtro Rejeita-Banda Ideal



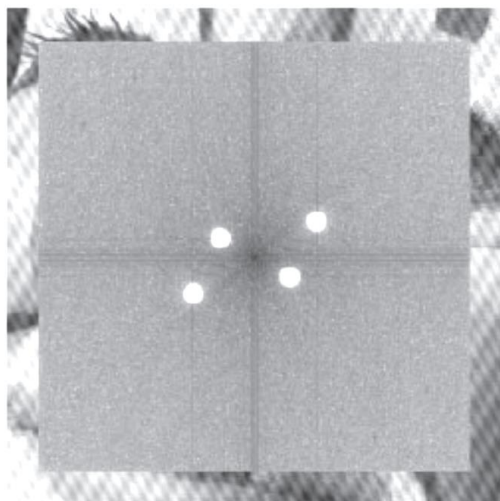
# Filtros *Notch Reject*



(a)



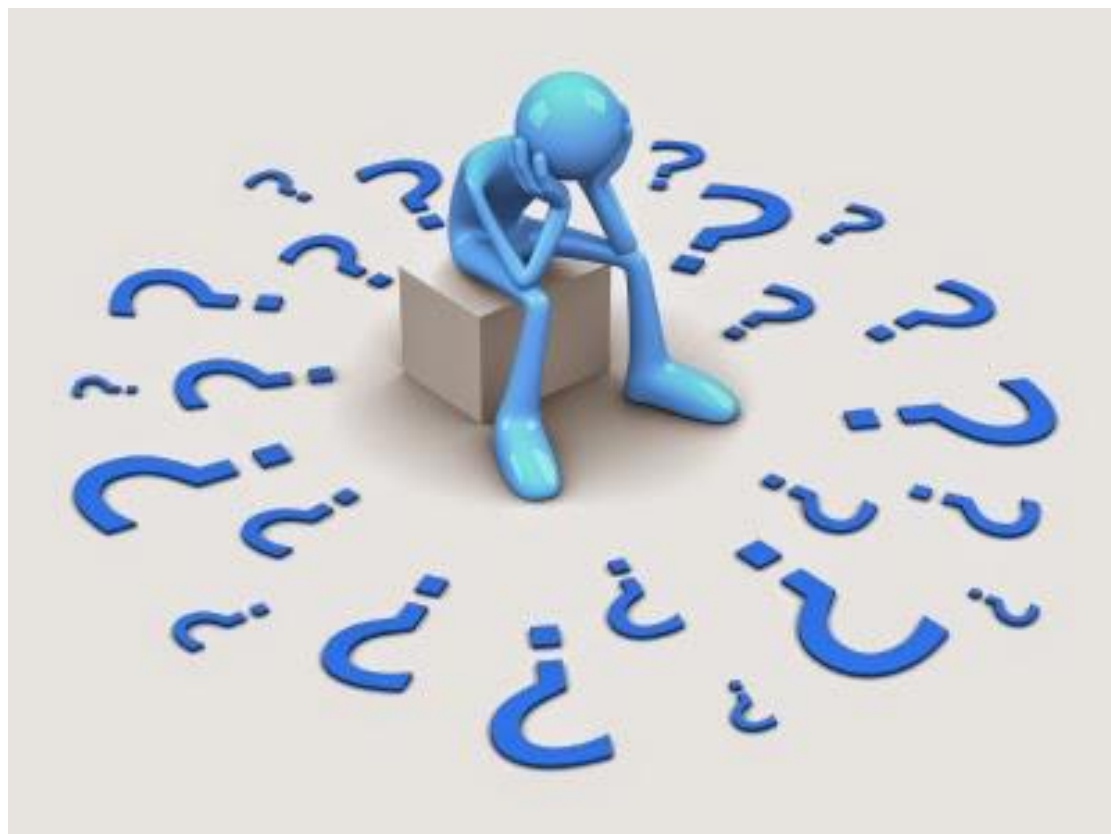
(b)



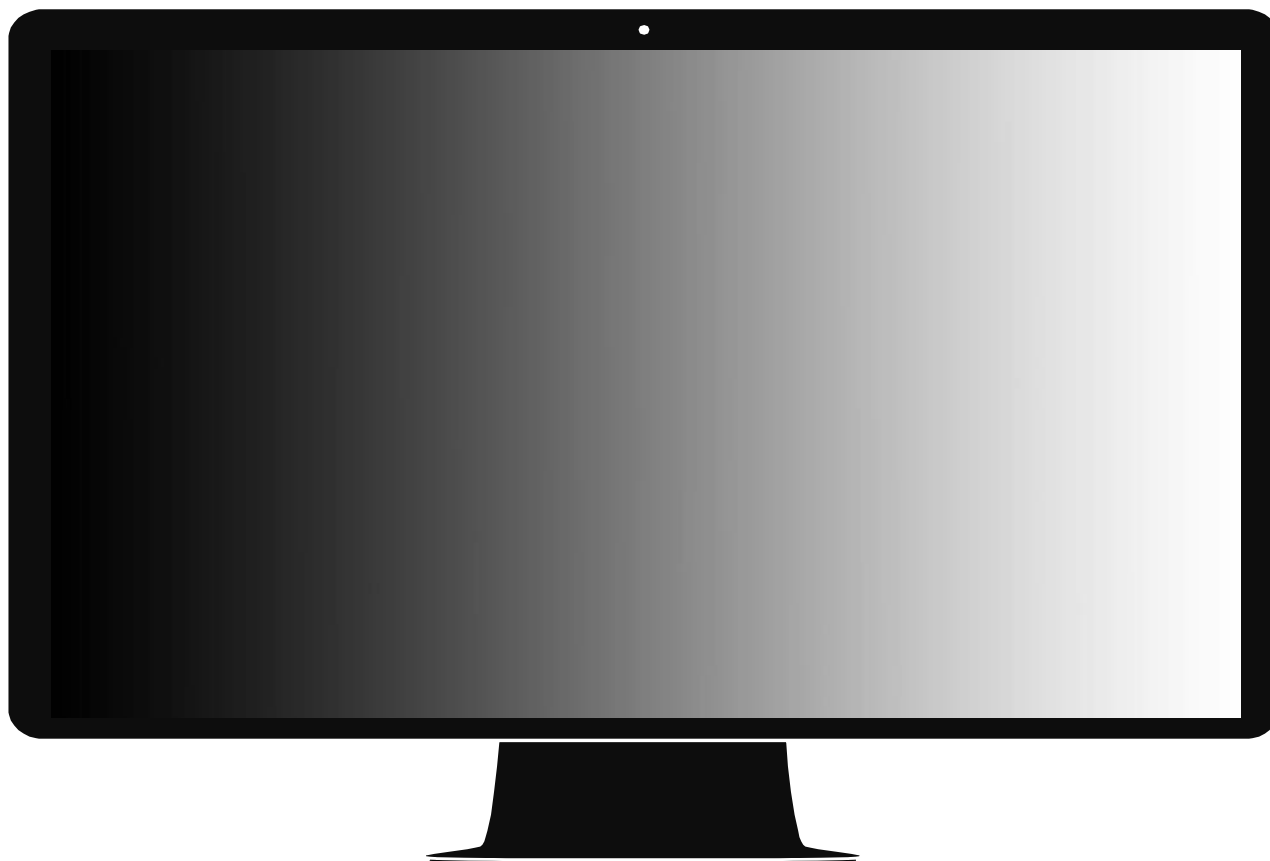


# Ruído quântico

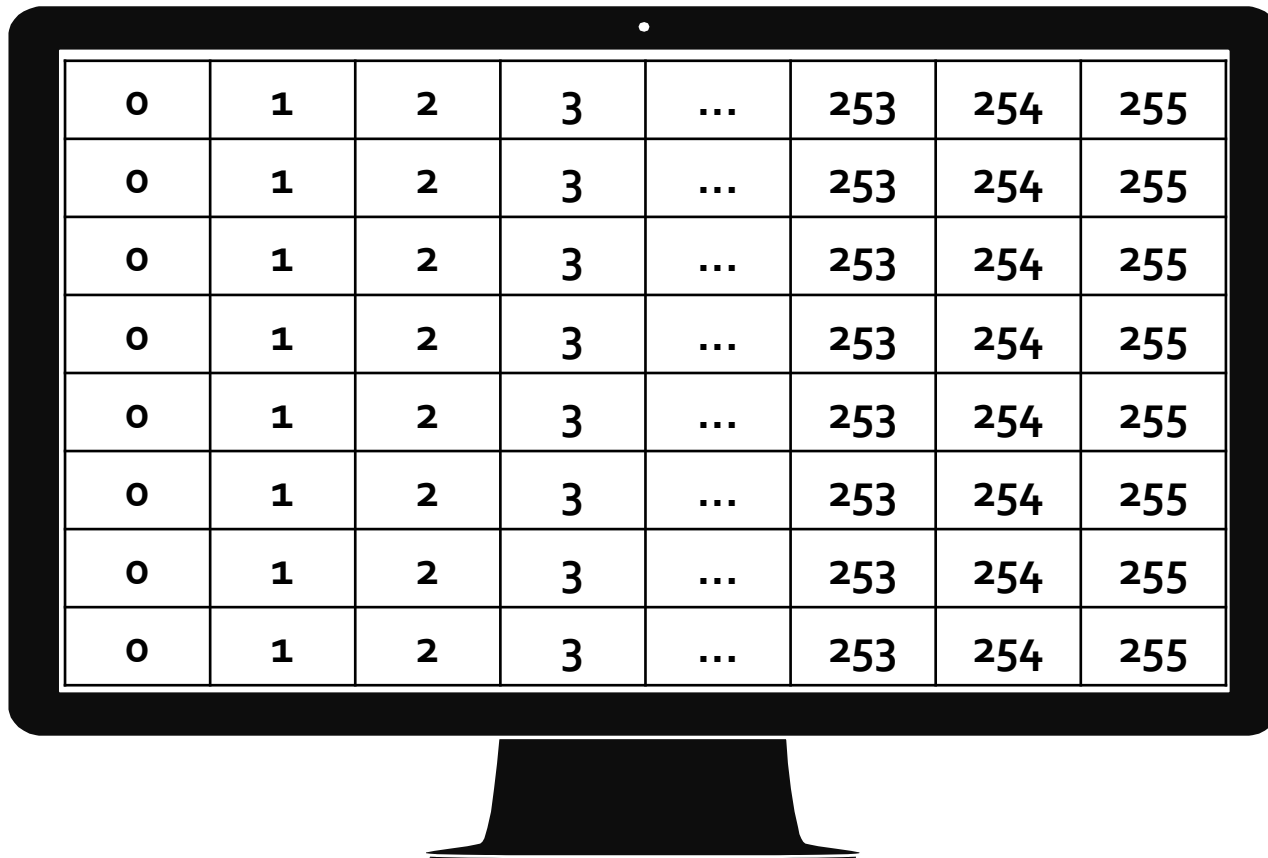
# O que é o ruído quântico?



**Considere uma imagem digital feita  
em computador (sintética)**



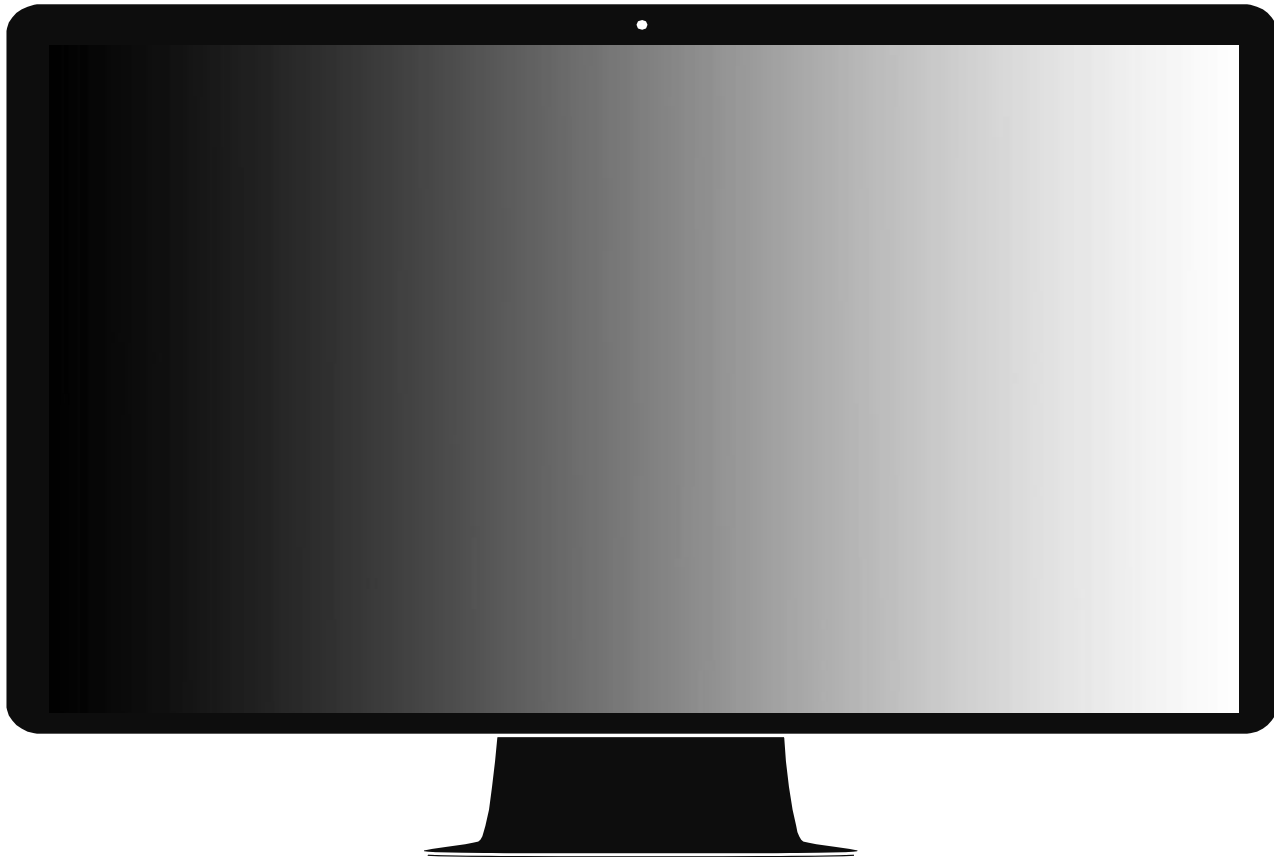
# Considere uma imagem digital feita em computador (sintética)



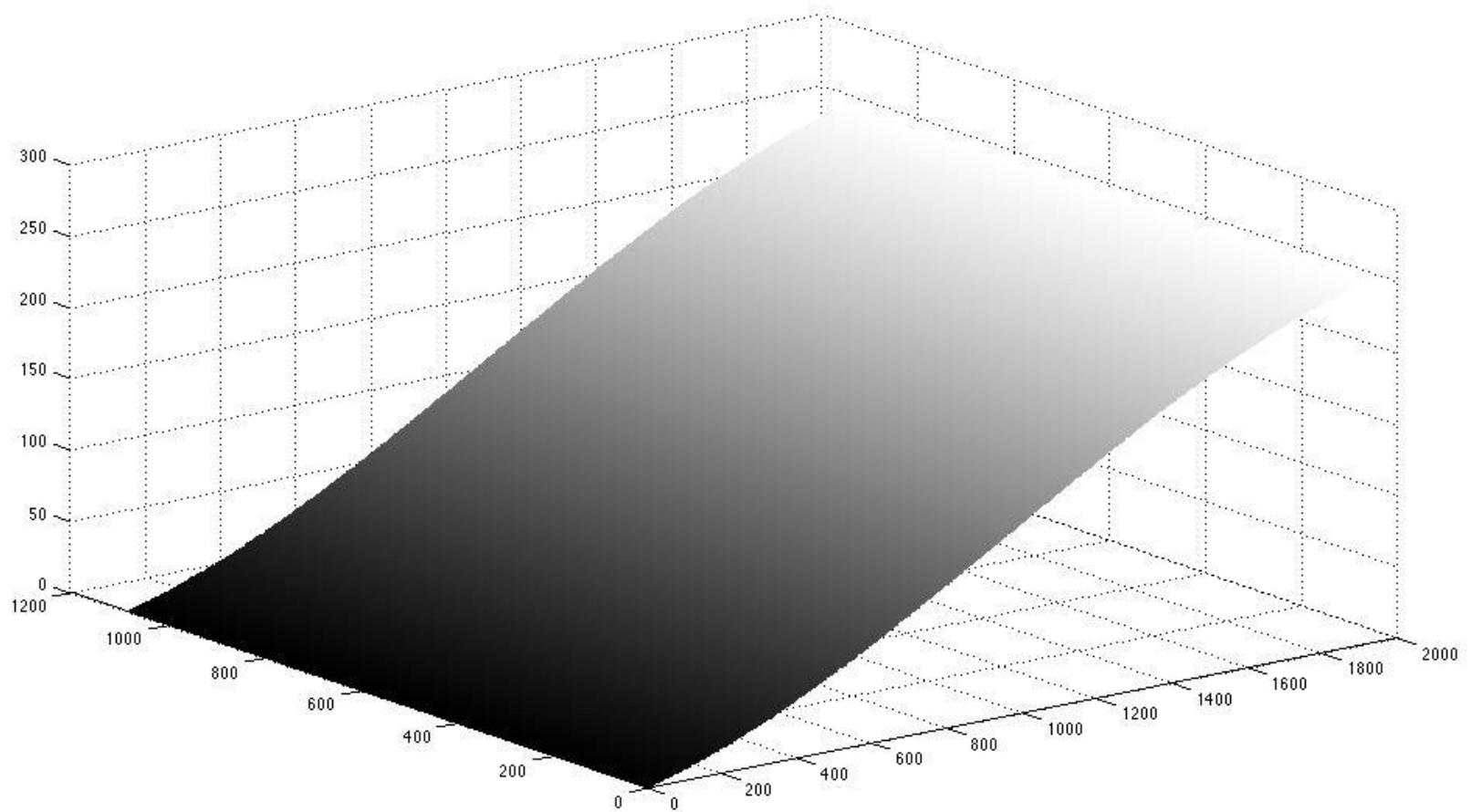
A computer monitor is shown with a grid of pixel values on its screen. The grid consists of 8 rows and 8 columns. The first four columns contain the values 0, 1, 2, and 3. The fifth column contains an ellipsis (...). The last three columns contain the values 253, 254, and 255. All rows are identical.

0	1	2	3	...	253	254	255
0	1	2	3	...	253	254	255
0	1	2	3	...	253	254	255
0	1	2	3	...	253	254	255
0	1	2	3	...	253	254	255
0	1	2	3	...	253	254	255
0	1	2	3	...	253	254	255
0	1	2	3	...	253	254	255

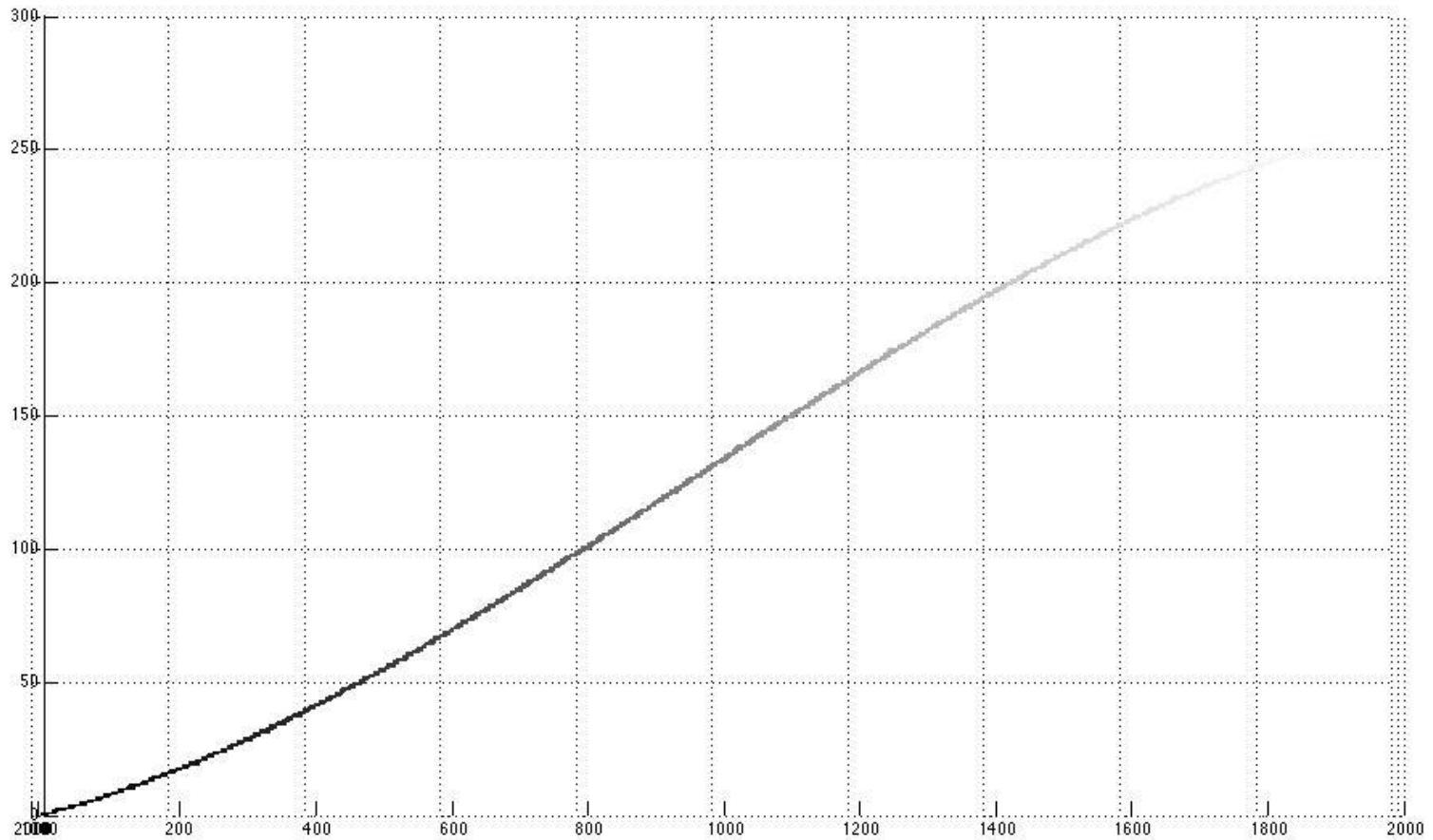
# Considere uma imagem digital feita em computador (sintética)



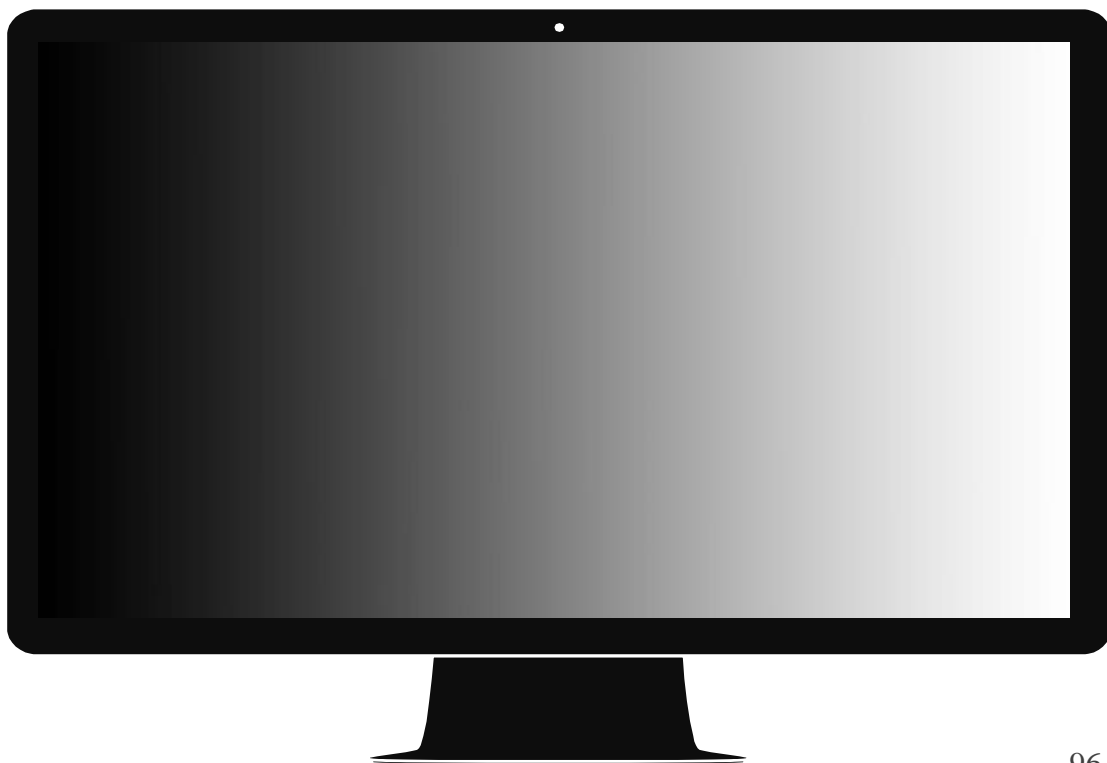
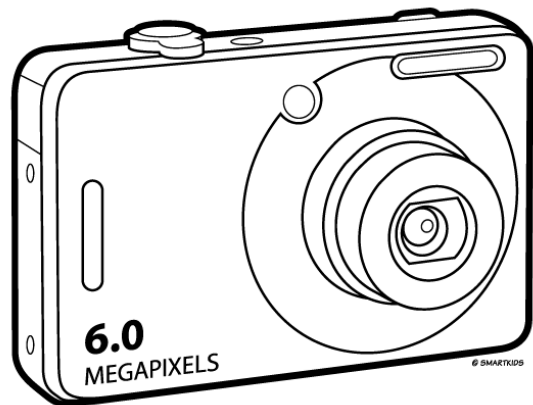
# Superfície da imagem digital



# Rampa

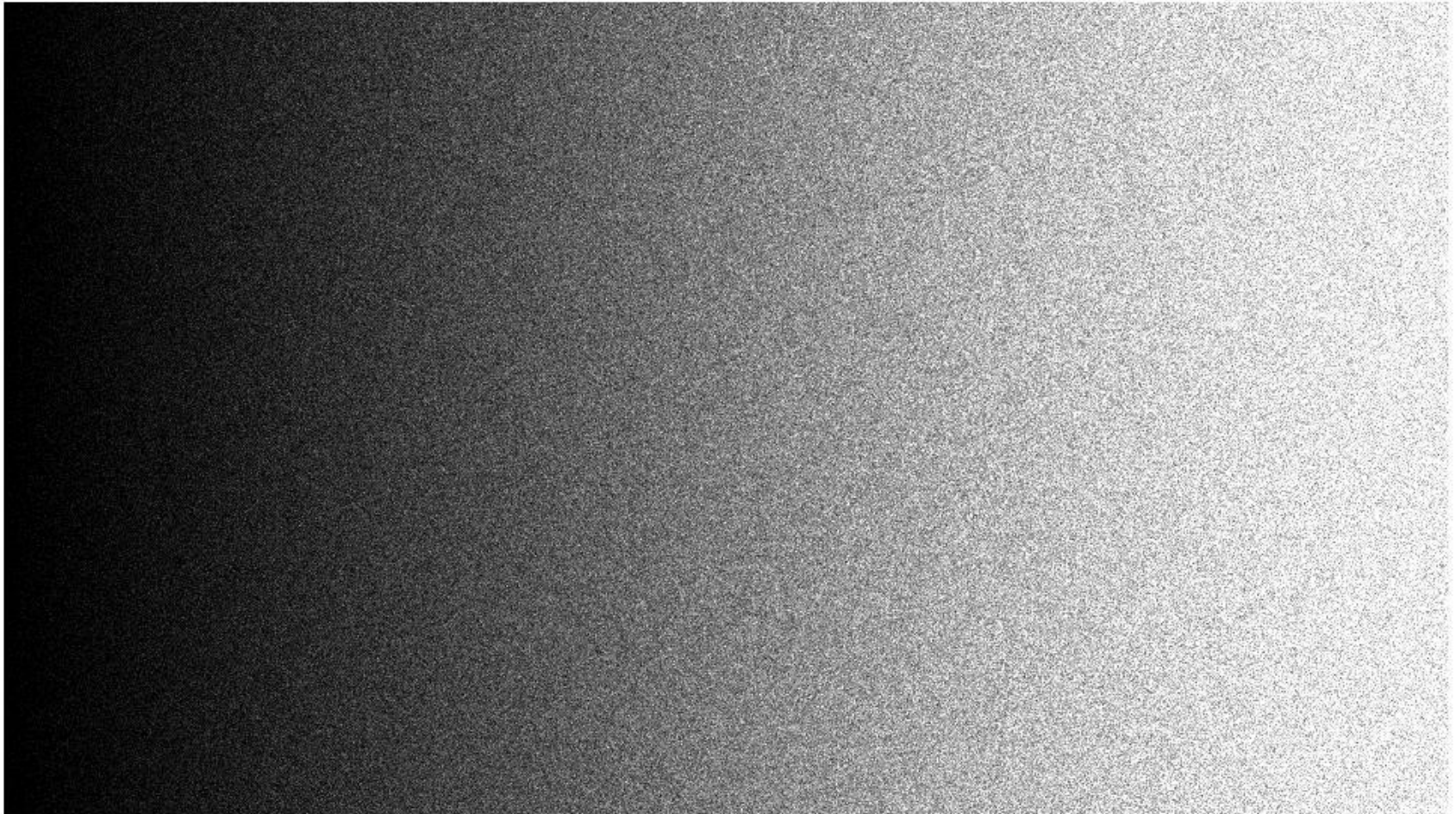


# Como é o ruído dessa fotografia?

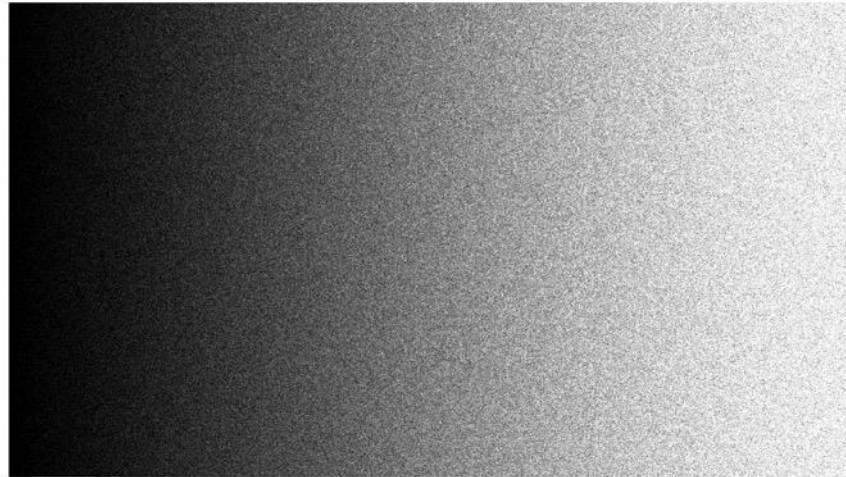




# Fotografia



# Subtração

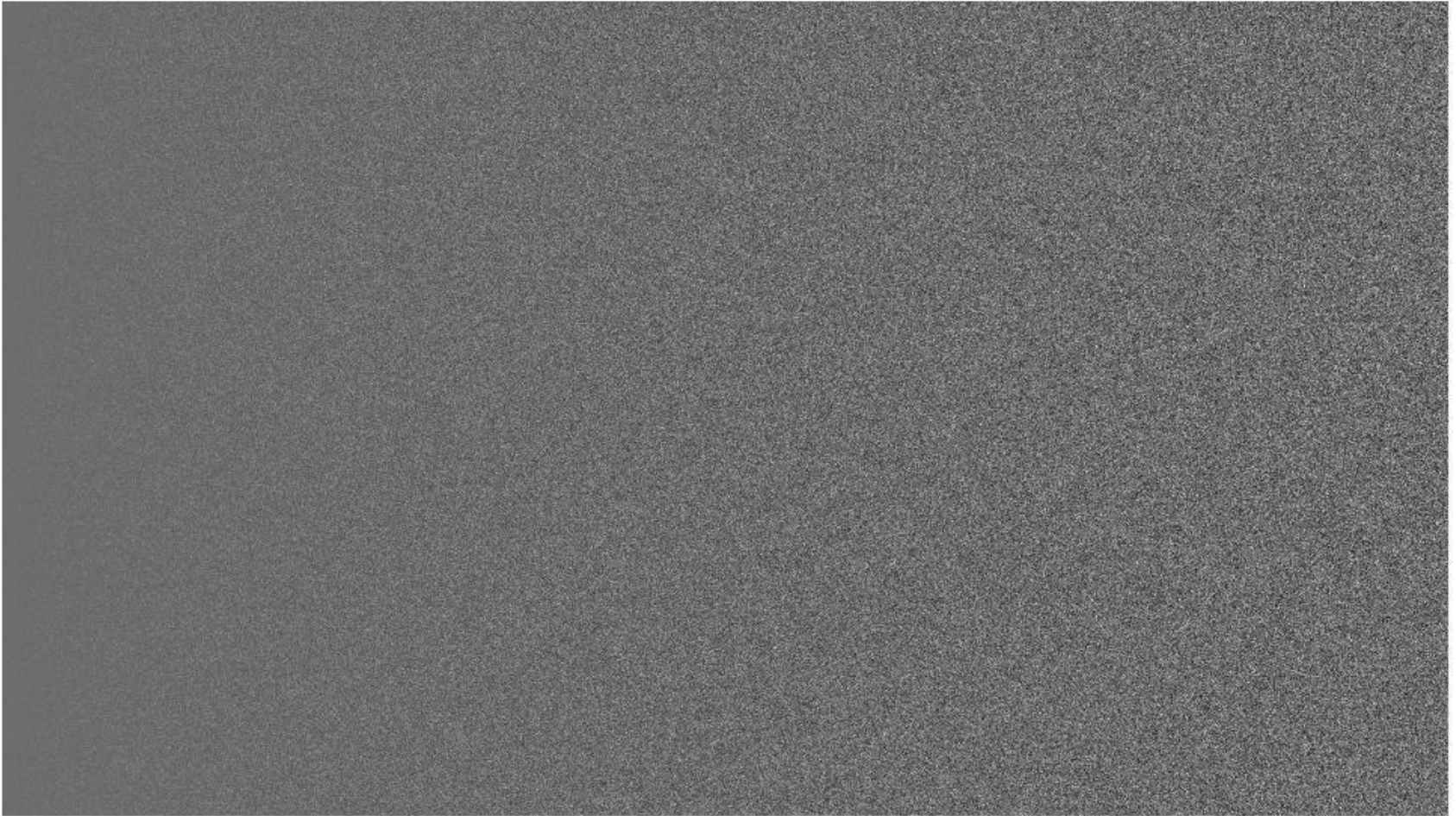


**Fotografia**

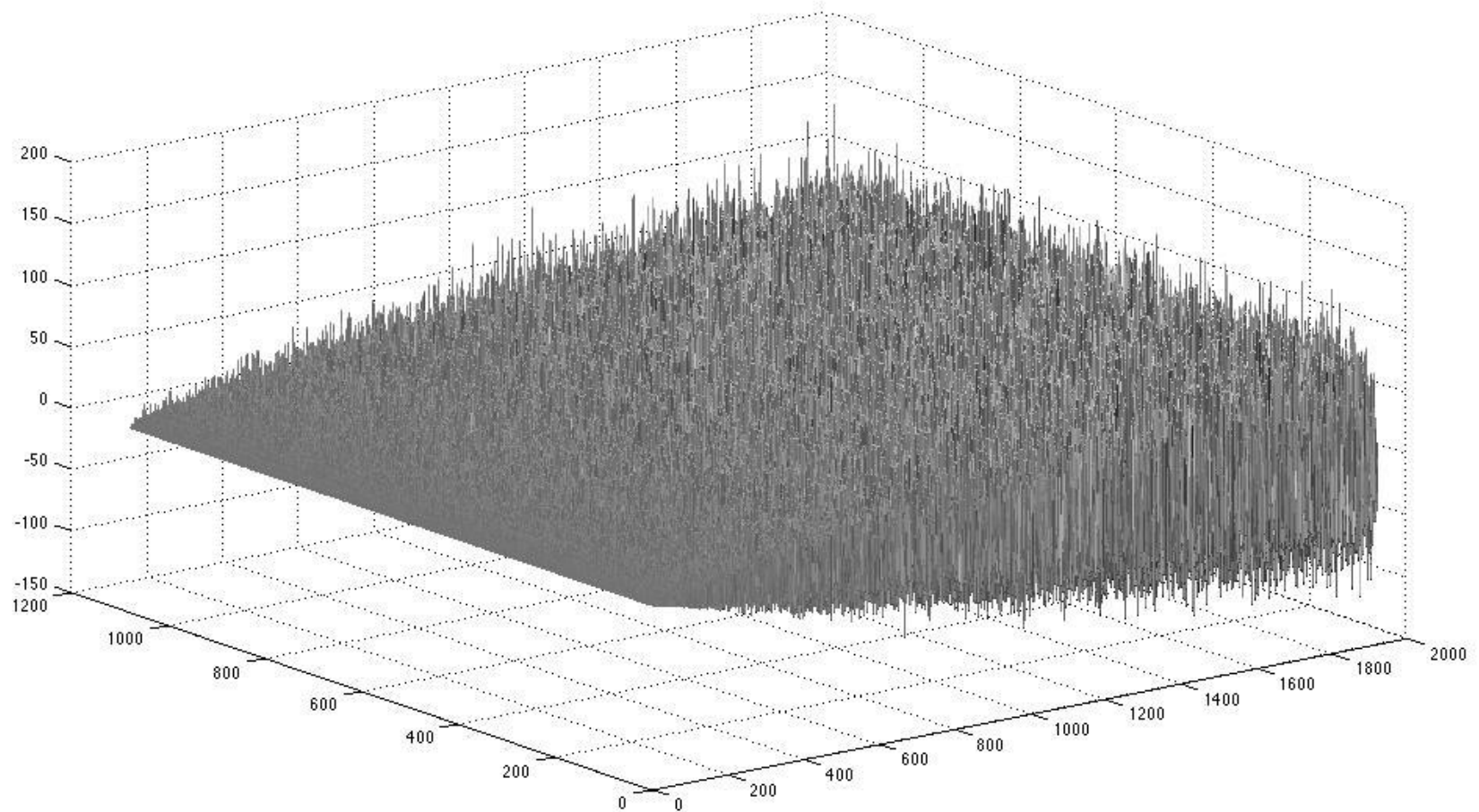


**Imagem Sintética**

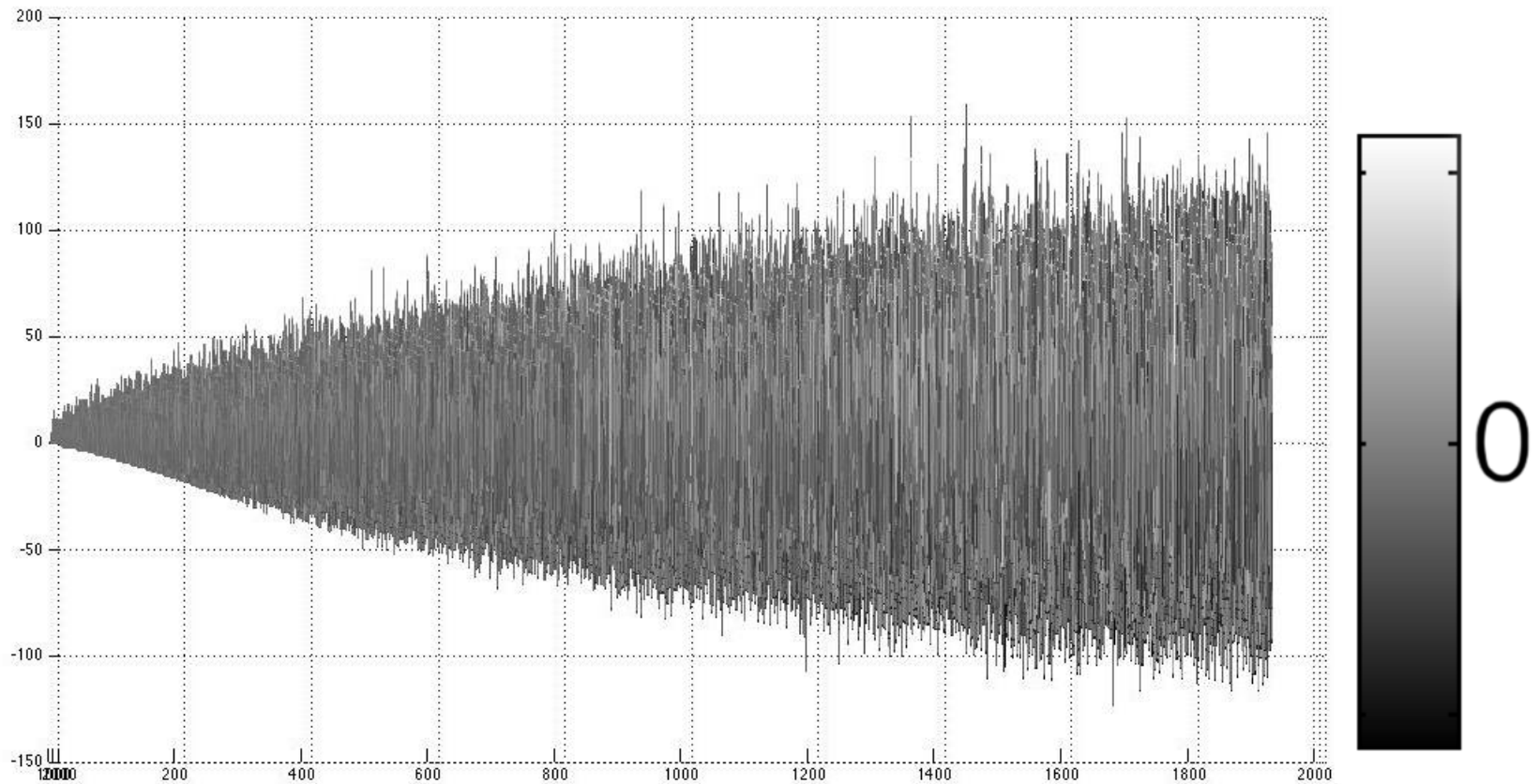
# Ruído



# Ruído

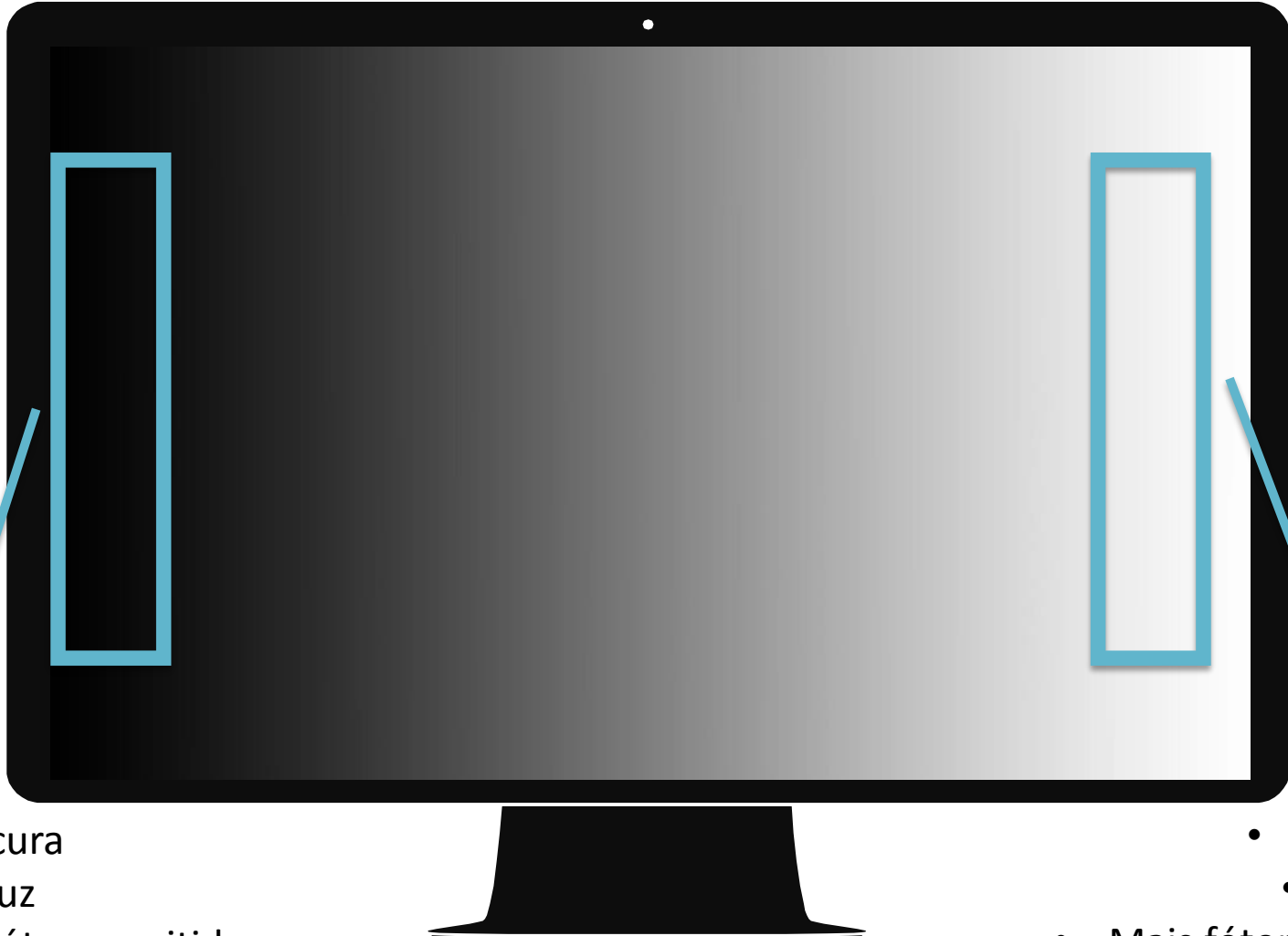


# Ruído quântico



**Dependente do sinal!**

# Dependência do Sinal



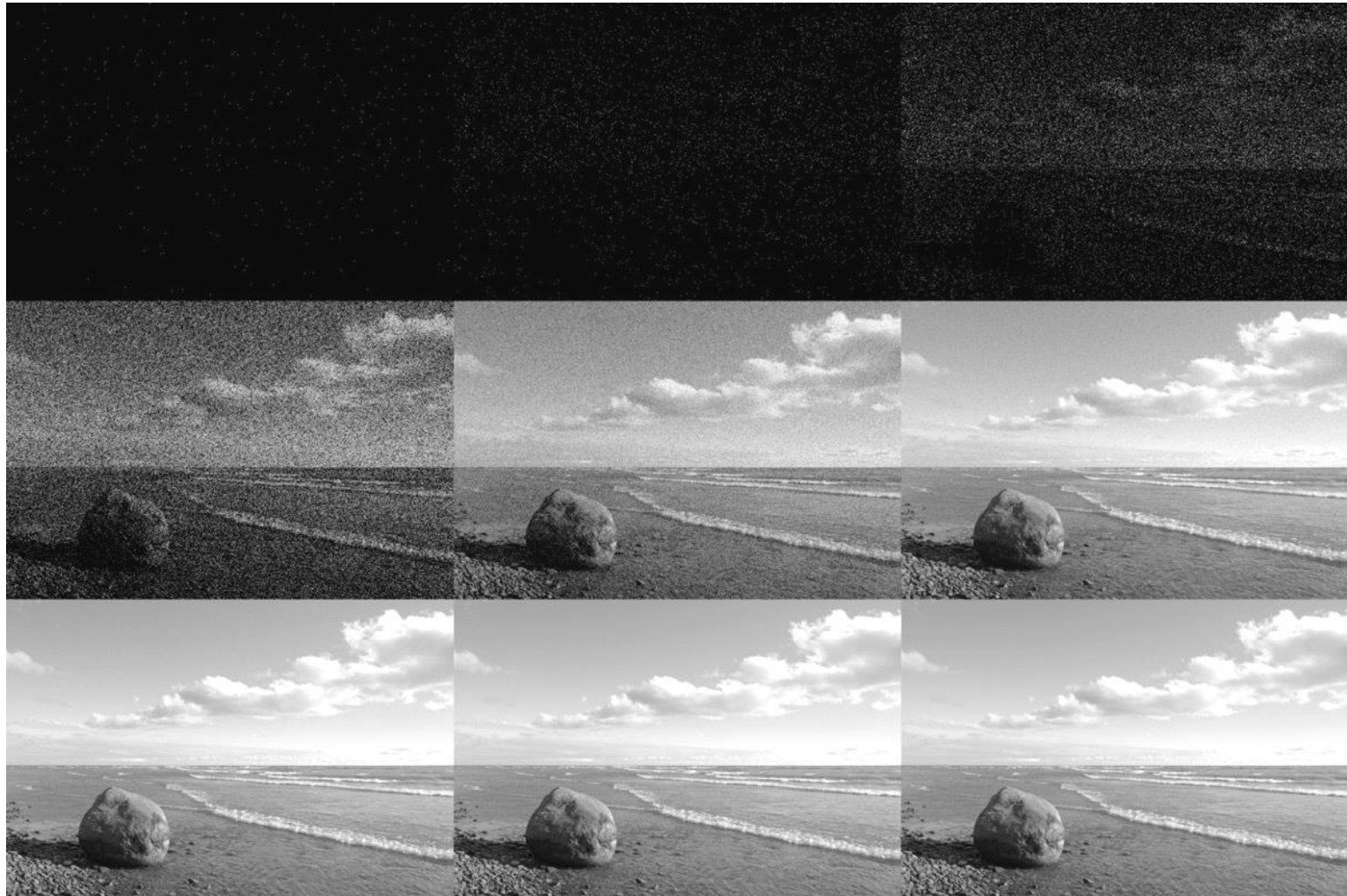
- Mais escura
- Menos luz
- Menos fótons emitidos

- Mais clara
- Mais luz
- Mais fótons emitidos

# Características do ruído quântico

- Natureza quântica da luz;
- Segue a distribuição de Poisson;
- Percebido quando há baixa contagem de fótons de luz na aquisição da imagem;
- Chamado de “quantum mottle” ou “shot noise”;
- Muito comum em imagens médicas;
- Aleatório;
- Dependente do sinal (variância do ruído = média do sinal);
- Pode ser branco;
- Mais difícil de ser tratado.

# Ruído Quântico





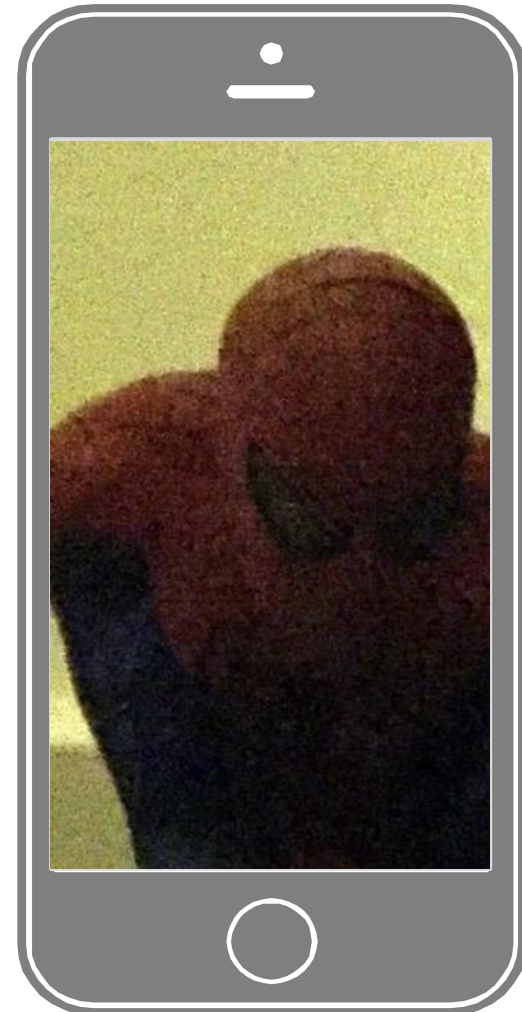
# Ruído Quântico



# Ruído Quântico



# Ruído Quântico



# Distribuição de Poisson

- Distribuição de Poisson é uma distribuição de probabilidade aleatória discreta que expressa a probabilidade de um número de eventos ocorrer durante um intervalo contínuo (tempo, espaço, etc.)

$$f(x) = P(X = x) = \frac{e^{-\lambda} \times \lambda^x}{x!}, \quad x = 0, 1, 2, \dots \text{ e } \lambda > 0.$$

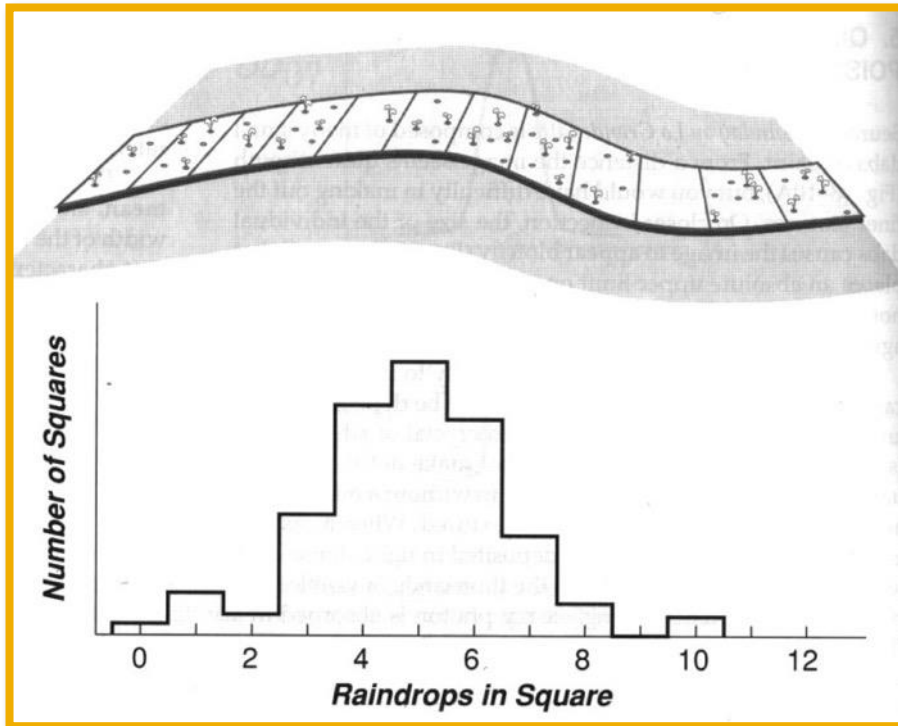
Esperança:  $\mu_{(X)} = \lambda$

Variância:  $\sigma_{(X)}^2 = \lambda$

$\lambda$  = frequência média de eventos no intervalo

- Processo de aquisição de imagens: valor do pixel é proporcional ao número de fótons que chegam no detector;
- O ruído quântico depende do valor do pixel na imagem.

# Distribuição de Poisson



Média:  $\mu = N$

Variância:  $\sigma^2 = N$

Desvio Padrão:  $\sigma = \sqrt{N}$

# Distribuição de Poisson

Variação relativa (ruído)

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

O ruído relativo diminui com o aumento do número de fótons.

Média do sinal (N)	Desvio Padrão ( $\sqrt{N}$ )	Ruído relativo
10	3,16	31,6%
100	10	10,0%
1000	31,62	3,16%
10000	100	1,00%

# Distribuição de Poisson

Relação sinal-ruído (SNR)

$$SNR = \frac{N}{\sqrt{N}} = \sqrt{N}$$

A relação sinal-ruído aumenta com o aumento do número de fótons.

Média do sinal (N)	Desvio Padrão ( $\sqrt{N}$ )	Ruído relativo
10	3,16	31,6%
100	10	10,0%
1000	31,62	3,16%
10000	100	1,00%

# Imagens Médicas

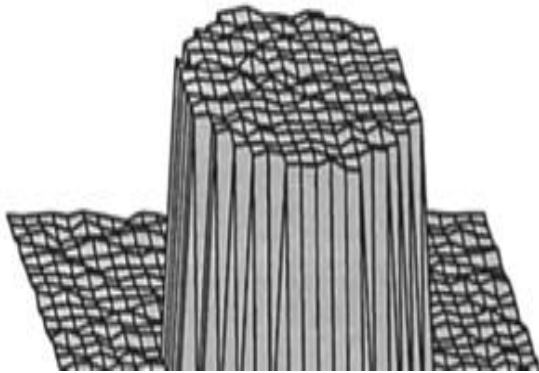


# Raios X

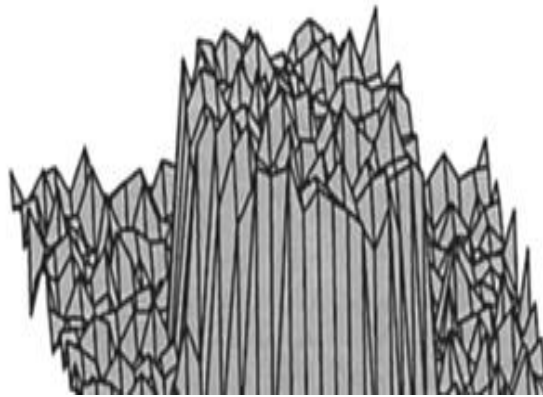


© picture-alliance/prismaarchiv

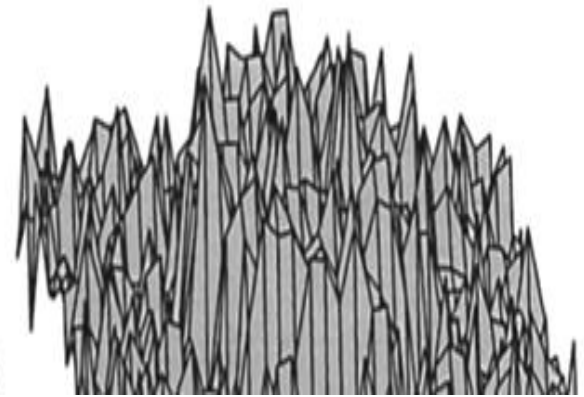
# Dose de Radiação x Ruído



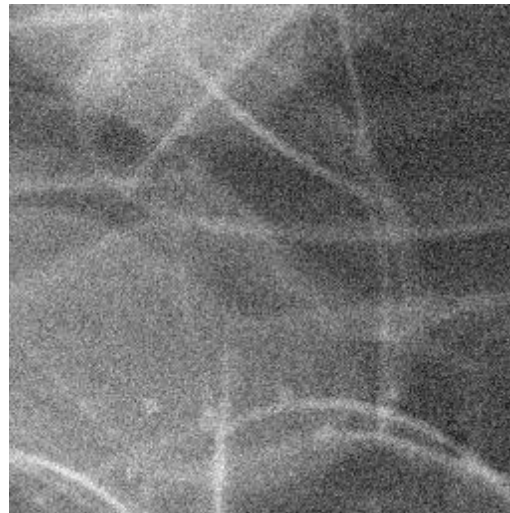
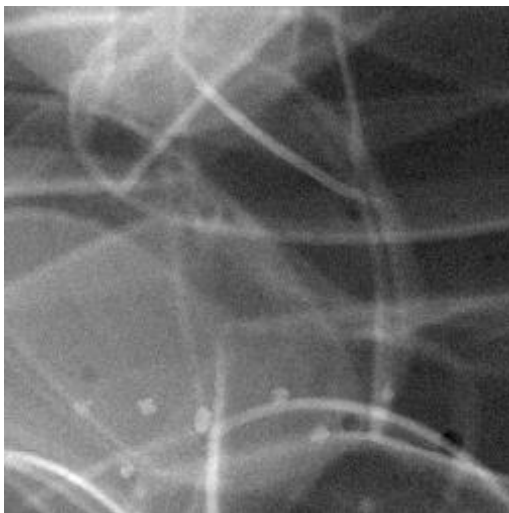
Dose Alta



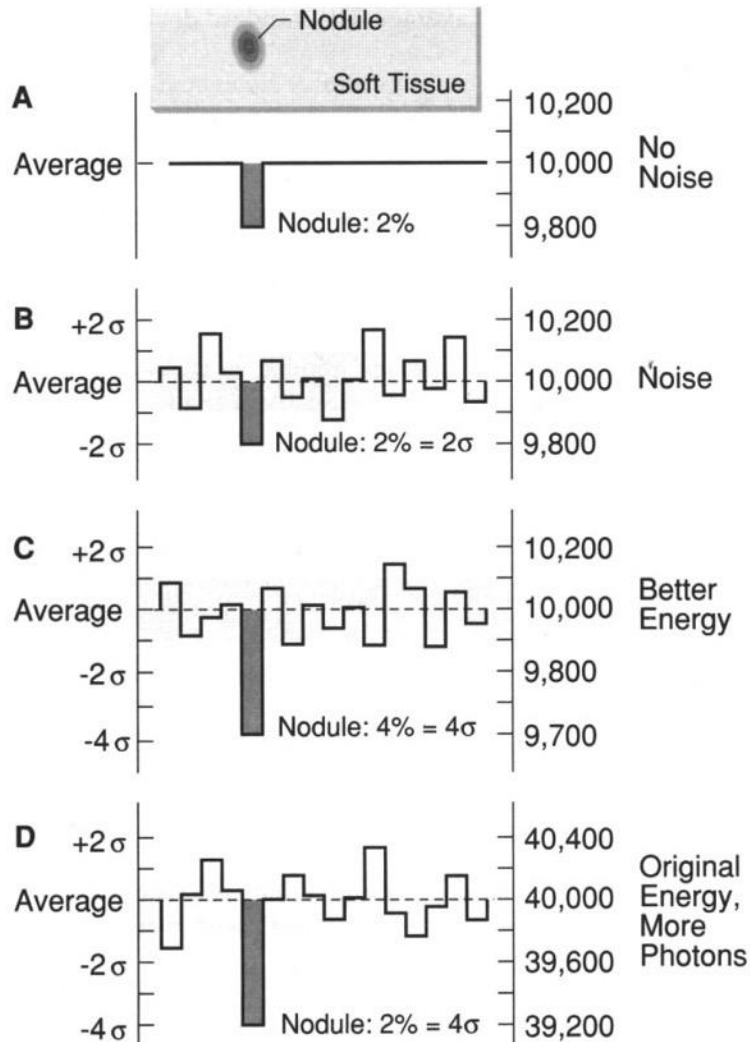
Dose Média



Dose Baixa



# Detectabilidade de lesões



$$SNR = \frac{N}{\sqrt{N}} = \sqrt{N}$$

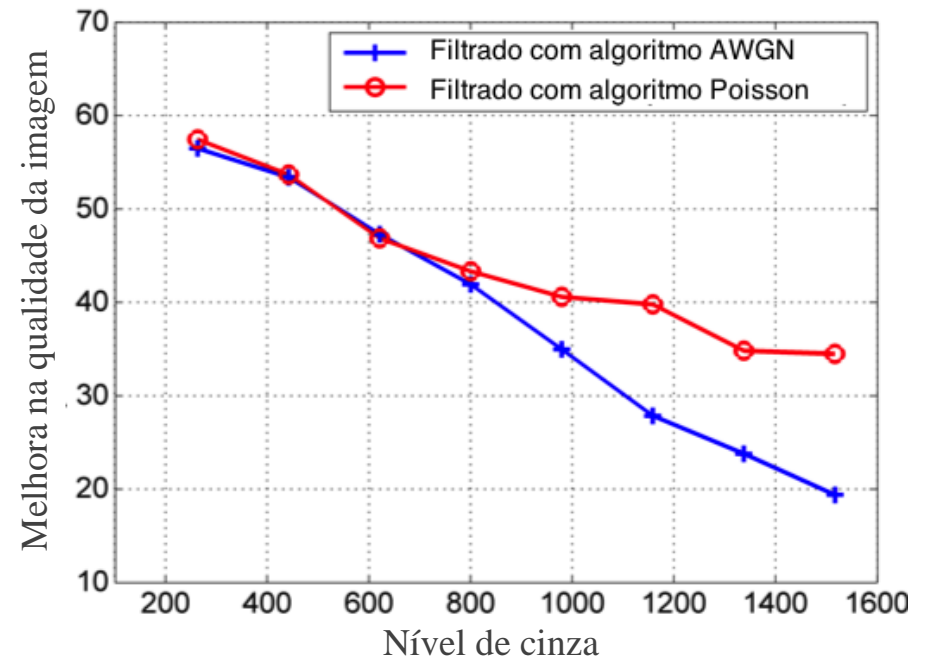
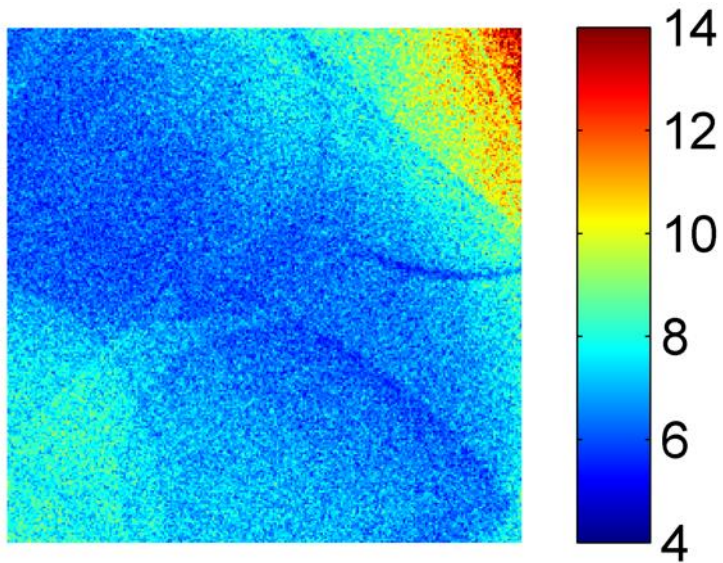
A dose de radiação influencia na detectabilidade de lesões

# Filtragem do ruído quântico

# Filtragem do ruído quântico

- Os métodos desenvolvidos para filtragem do ruído AWGN não devem ser aplicados diretamente para a filtragem do ruído quântico;
- Como a variância do ruído não é fixa para o ruído quântico, os filtros para ruído AWGN:
  - Borram excessivamente as regiões da imagem onde o ruído era mais baixo;
  - Não filtram corretamente as regiões onde o ruído era mais alto.

# Filtragem do ruído quântico



# Filtragem do ruído quântico

IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, VOL. PAMI-7, NO. 2, MARCH 1985

165

## Adaptive Noise Smoothing Filter for Images with

Proceedings of 2010 IEEE 17th International Conference on Image Processing

September 26-29, 2010, Hong Kong

D

POISSON NL M

Signal Processing 90 (2010) 415–427

Charles-Alban De

Institut Telecom  
CNI  
Pari:



Contents lists available at ScienceDirect

Signal Processing

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/sigpro](http://www.elsevier.com/locate/sigpro)



1010

IEEE SIGNAL PROCESSING LETTERS, VOL. 20, NO. 11, NOVEMBER 2013

Fast inter

Florian Luis

<sup>a</sup> Biomedical Imaging  
<sup>b</sup> Department of Elec

A

Signal Processing 144 (2018) 68–76



Contents lists available at ScienceDirect

Signal Processing

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/sigpro](http://www.elsevier.com/locate/sigpro)



Poisson Wiener filtering with non-local weighted parameter estimation using stochastic distances



André A. Bindilatti<sup>a,\*</sup>, Marcelo A.C. Vieira<sup>b</sup>, Nelson D.A. Mascarenhas<sup>a,c</sup>

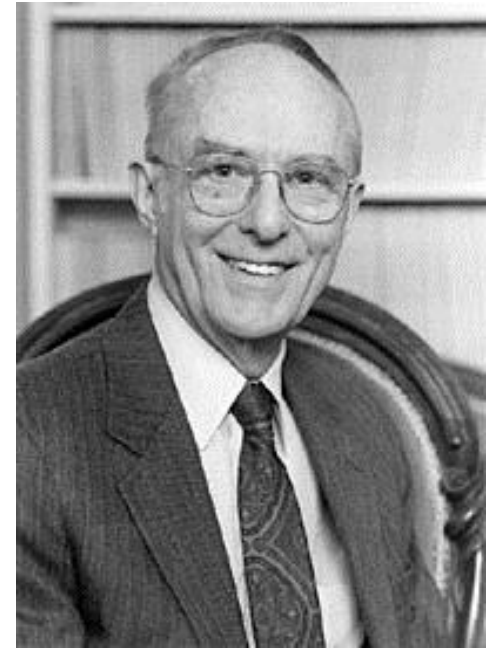
<sup>a</sup> Computing Department, Federal University of São Carlos, São Paulo, Brazil

<sup>b</sup> Department of Electrical and Computing Engineering, University of São Paulo, São Carlos, São Paulo, Brazil

<sup>c</sup> Faculdade Campo Limpo Paulista, Campo Limpo Paulista, São Paulo, Brazil

# Estabilização de variância

- Transformada de Anscombe;
- Converte uma distribuição Poisson em uma distribuição aproximadamente Gaussiana, com média zero e variância unitária;
- Torna a variância do ruído constante independente do valor do pixel.



$$f(z) = 2\sqrt{z + \frac{3}{8}}$$

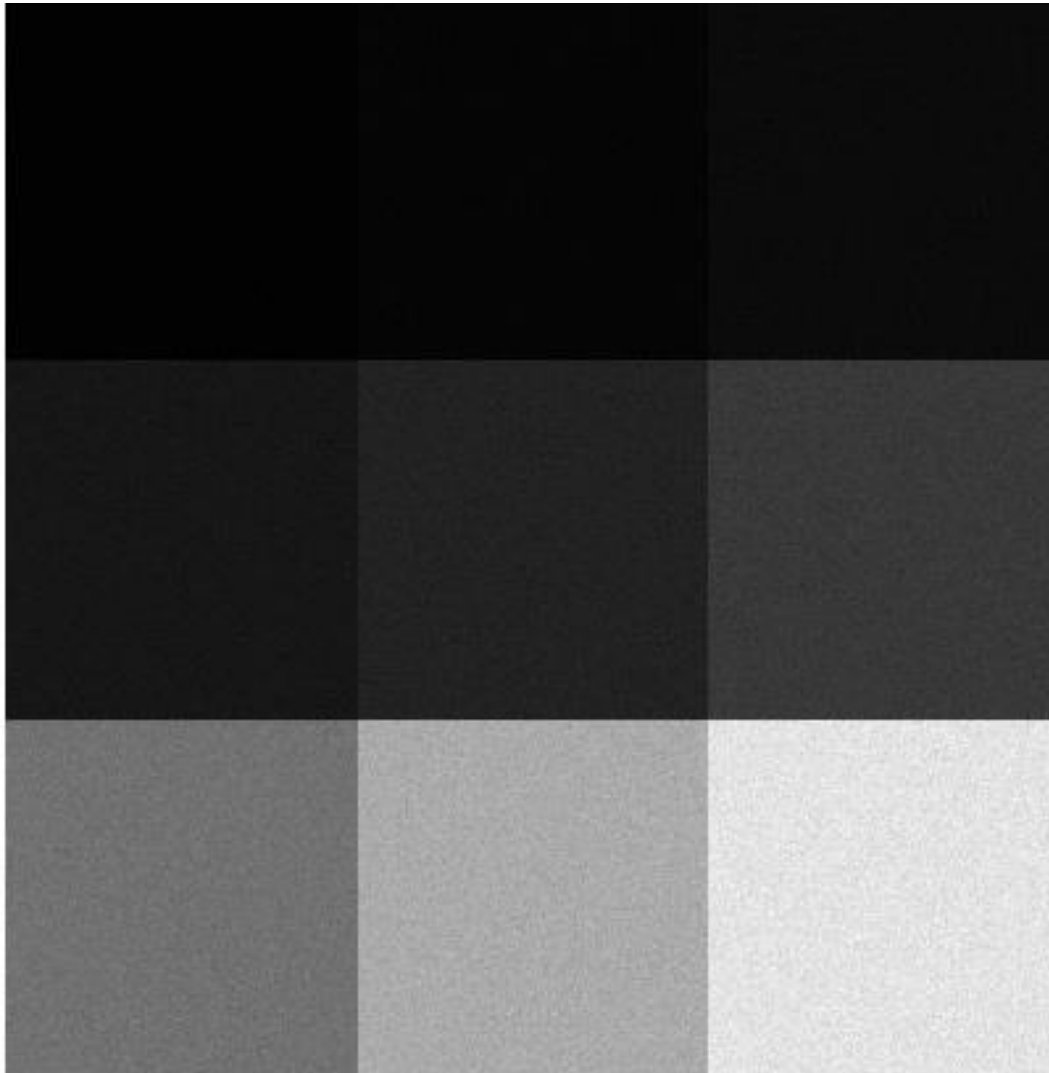


# Dependência do sinal

# Imagem sem ruído

10	25	50
100	150	250
500	750	1000

# Imagem com ruído Quântico



# Ruído Quântico

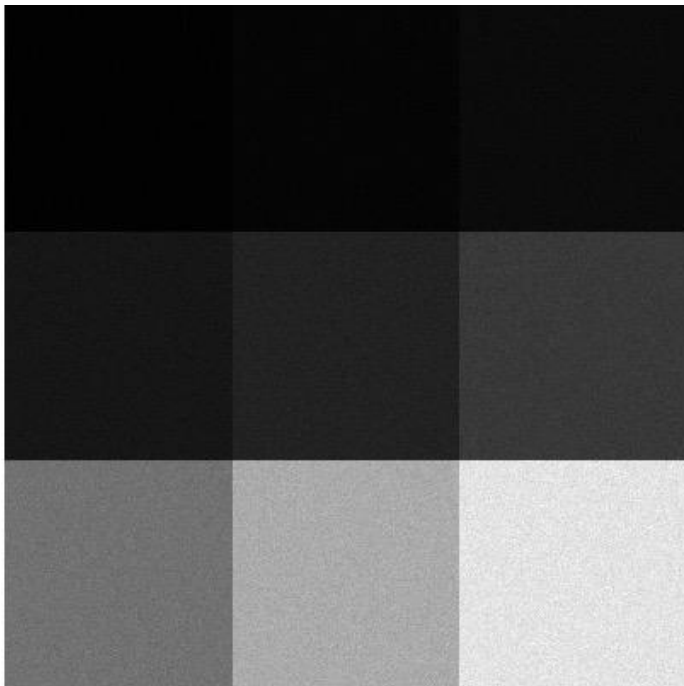


Imagem ruidosa

−

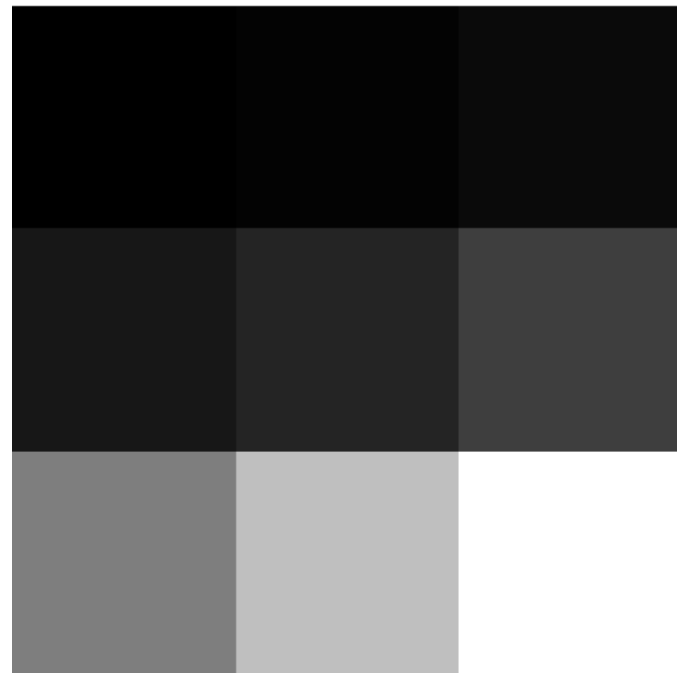
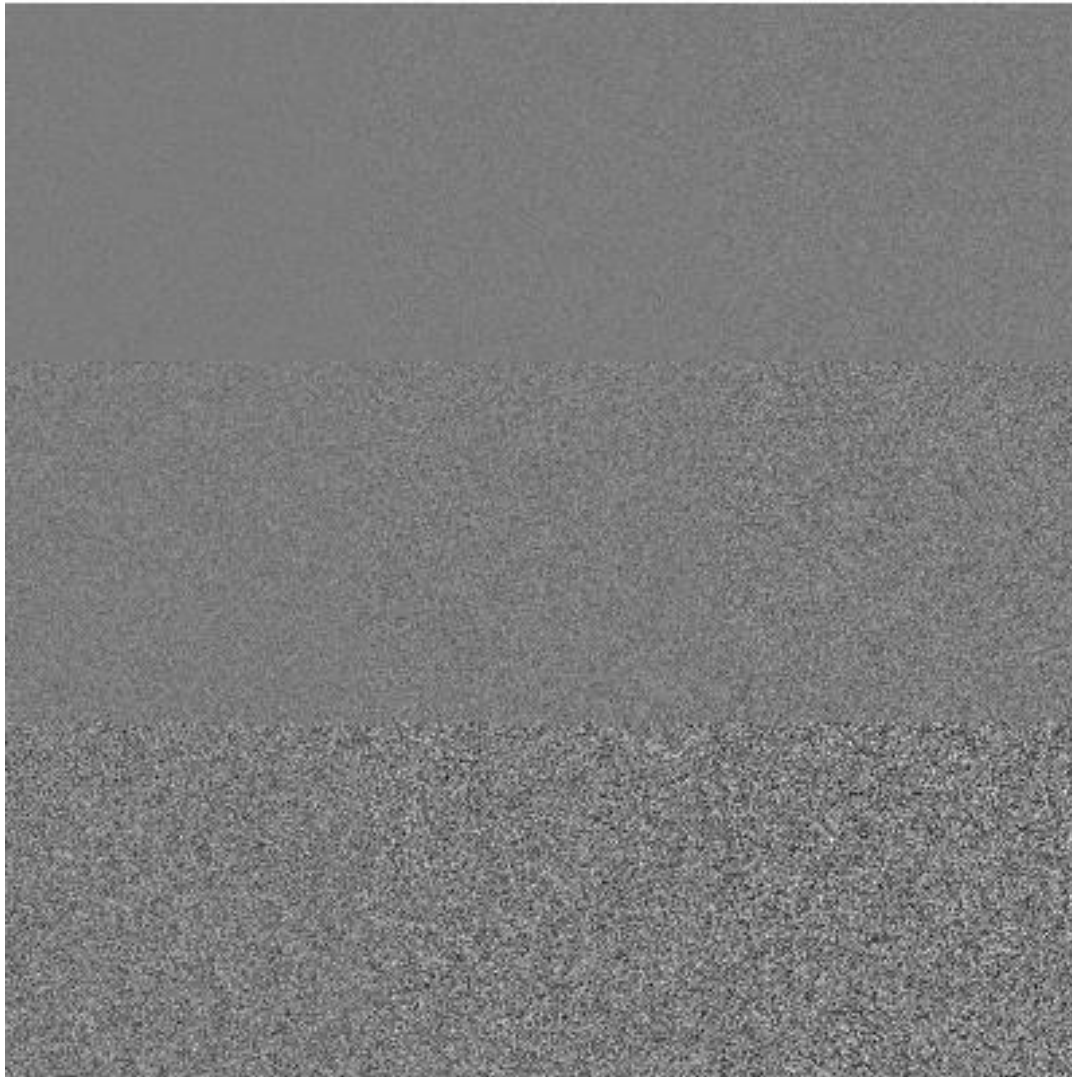


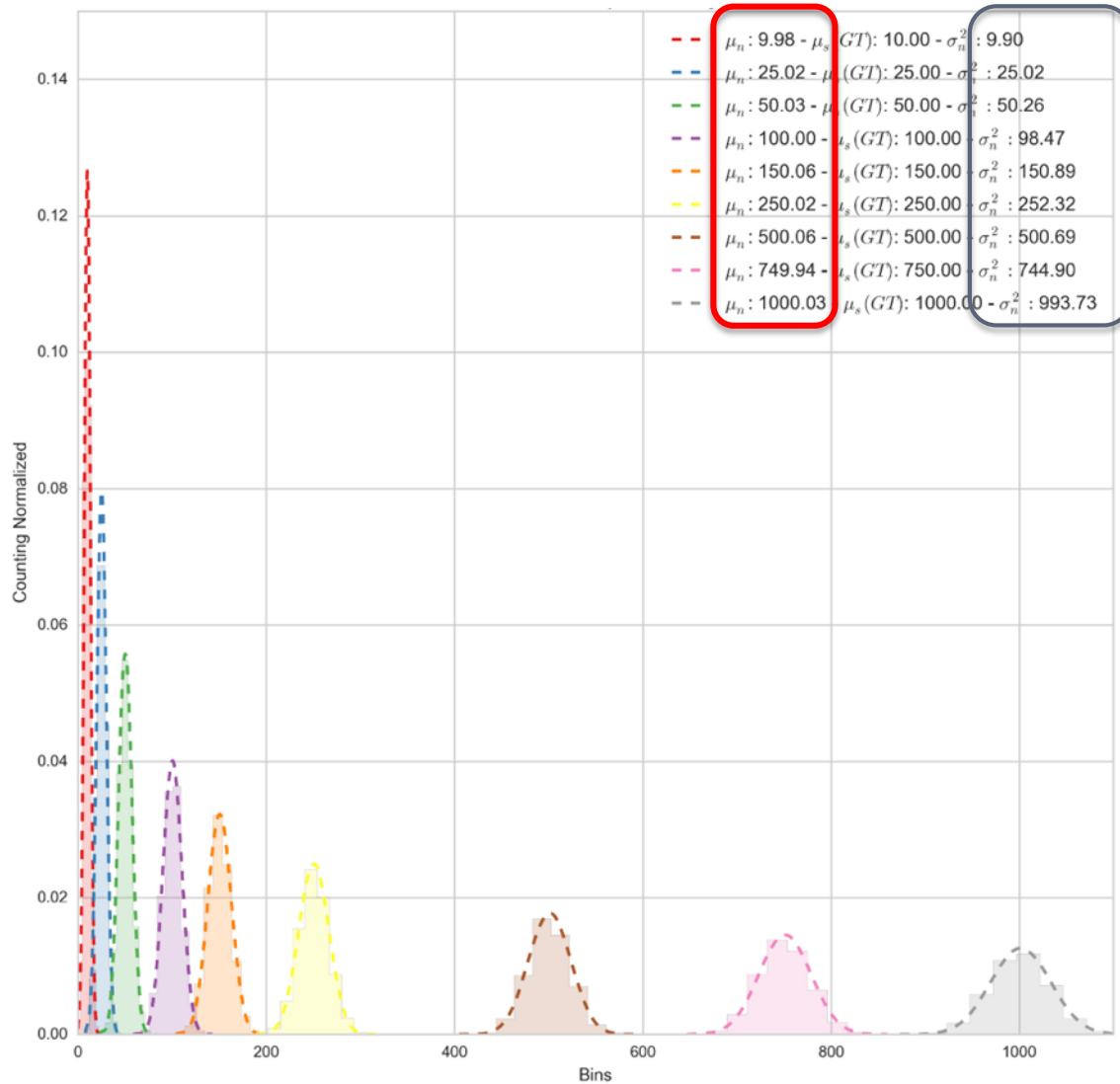
Imagem sem ruído

=

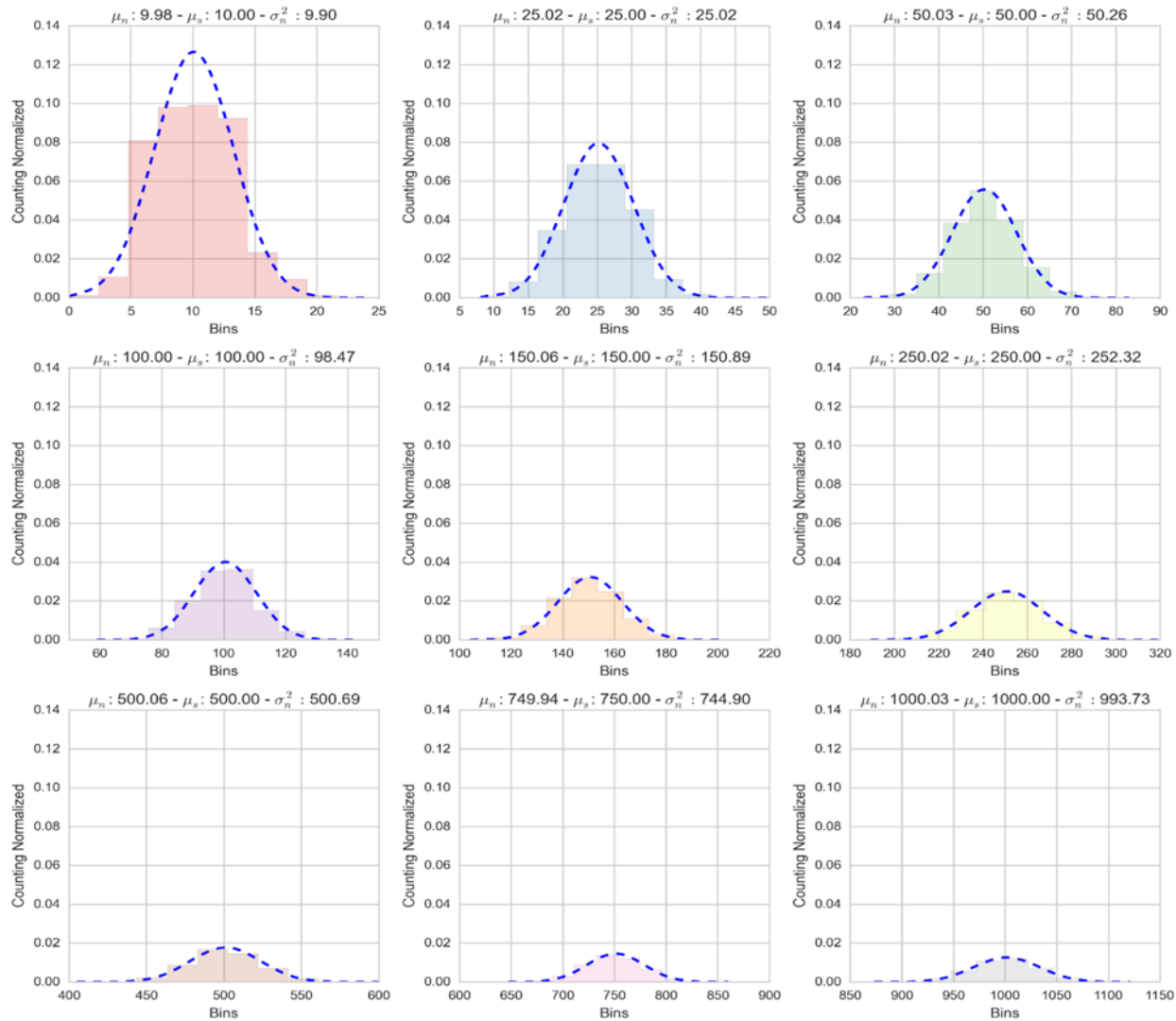
# Ruído Quântico



# Histograma



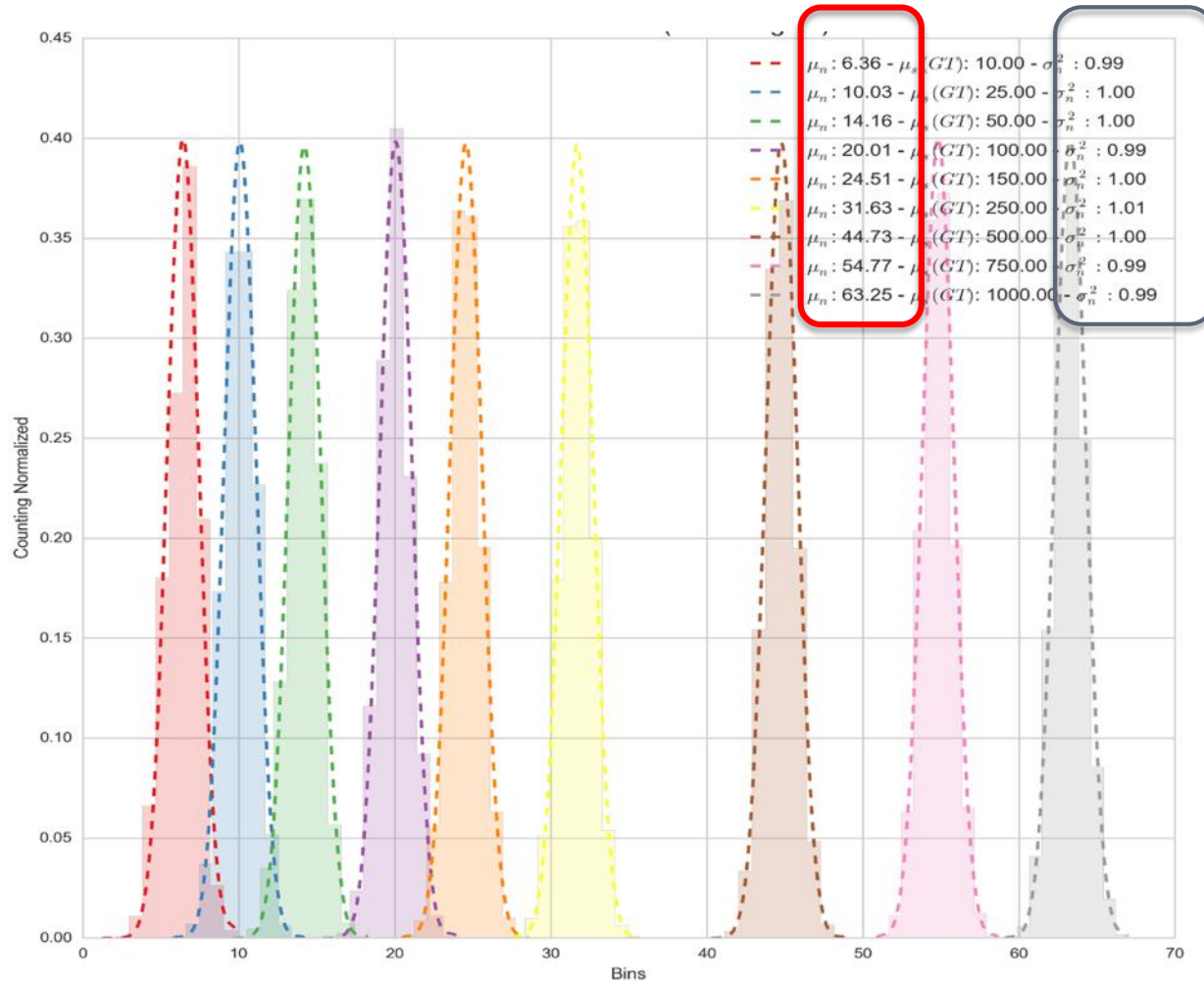
# Histograma



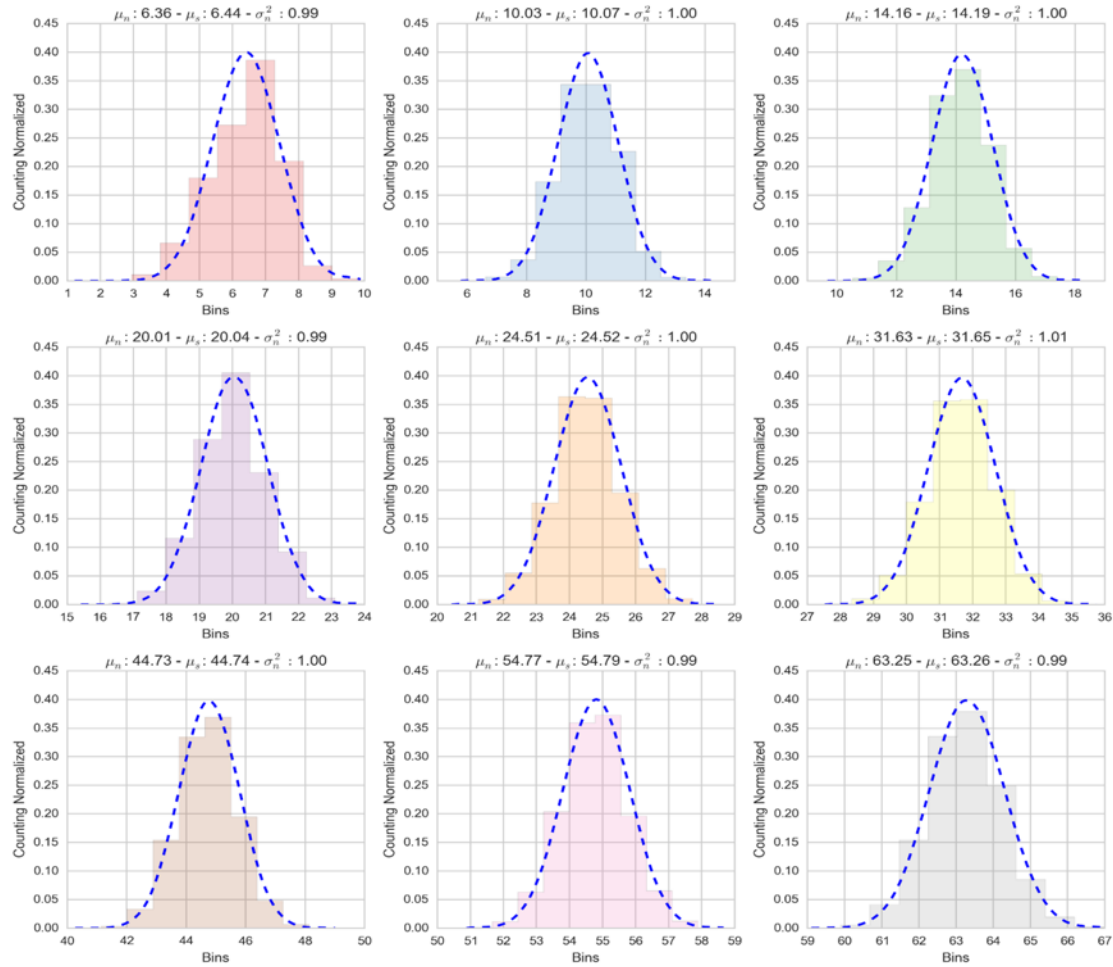
# Após a Estabilização da Variância



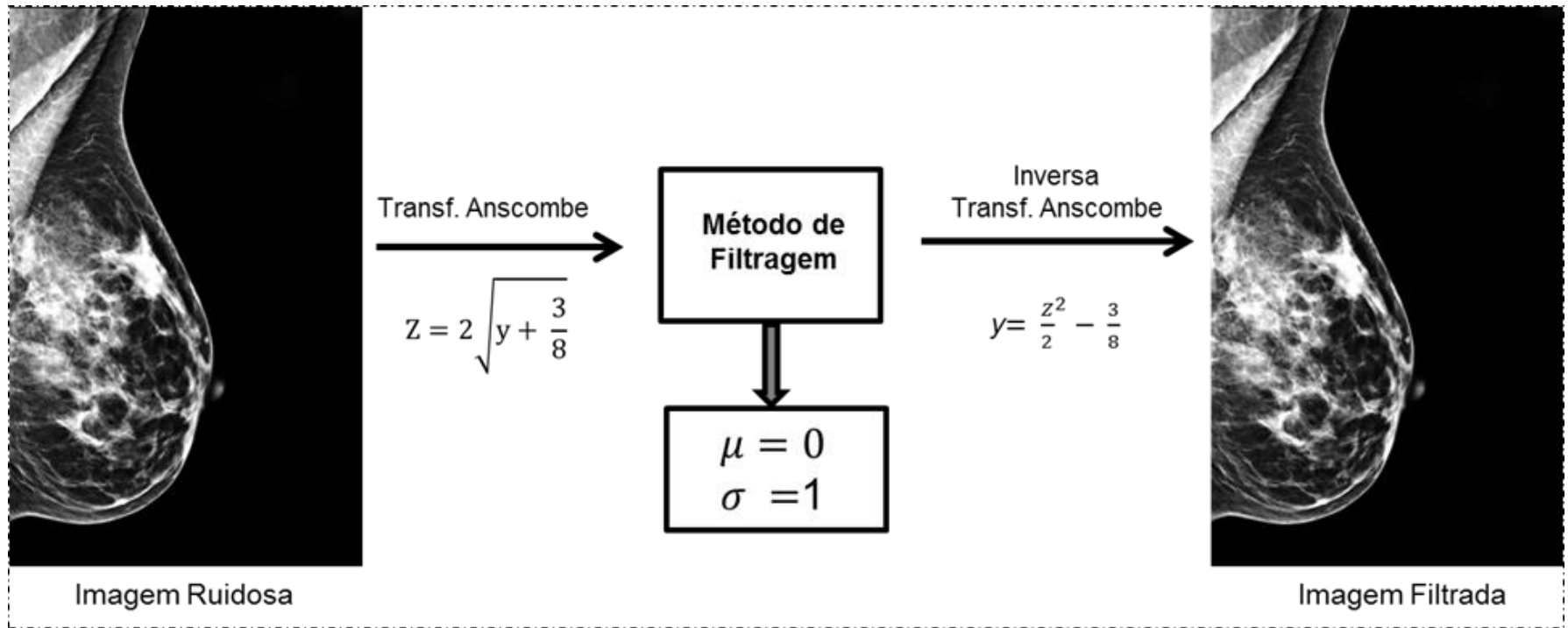
# Histograma



# Histograma



# Transformada de Anscombe



É possível utilizar técnicas de filtragem de ruído AWGN para a filtragem do ruído quântico

# Resumo da aula

- Restauração de imagens é um processo objetivo;
- O modelo de degradação utilizado é fundamental para o sucesso da restauração;
- Os parâmetros de degradação devem ser estimados:
  - Função de degradação e o ruído;
- A restauração de imagens degradadas apenas pelo ruído não é uma tarefa trivial;
- Em geral, os métodos de filtragem de ruído “borram” a imagem degradada, pois removem informações do sinal.

# Resumo da aula

- Os métodos não-locais são mais eficientes pois preservam melhor os detalhes nas imagens;
- Imagens corrompidas pelo ruído quântico devem ser restauradas por métodos específicos:
  - O uso do modelo AWGN não é adequado;
- O uso da transformada de Anscombe é uma alternativa eficaz e de baixo custo computacional para filtragem do ruído quântico.

FIM