

# Contents

<b>Relatório Técnico</b>	<b>1</b>
Aplicação de Filtros Espaciais para Redução de Ruído em Imagens Digitais . . . . .	1
1. Introdução . . . . .	2
1.1 Tema e Imagens Utilizadas . . . . .	2
1.2 Tipo de Ruído Aplicado . . . . .	2
2. Metodologia . . . . .	2
2.1 Filtros Espaciais Implementados . . . . .	2
2.2 Métricas de Avaliação Quantitativa . . . . .	3
3. Resultados Quantitativos . . . . .	3
3.1 Tabela de Métricas - Imagem 1 . . . . .	3
3.2 Tabela de Métricas - Imagem 2 . . . . .	4
3.3 Tabela de Métricas - Imagem 3 . . . . .	4
3.4 Tabela de Métricas - Média Geral das 3 Imagens . . . . .	4
3.5 Análise Quantitativa . . . . .	5
4. Resultados Qualitativos (Análise Visual) . . . . .	5
4.1 Figuras Comparativas . . . . .	5
4.2 Exemplos Visuais Detalhados por Filtro . . . . .	11
4.3 Observações Visuais Detalhadas . . . . .	12
4.4 Concordância entre Métricas e Percepção Visual . . . . .	13
5. Discussão e Conclusões . . . . .	14
5.1 Principais Achados . . . . .	14
5.2 Trade-offs Observados . . . . .	14
5.3 Aplicações Práticas . . . . .	15
5.4 Recomendações . . . . .	15
5.5 Diferencial: Aplicação Web Desenvolvida . . . . .	15
Anexos . . . . .	15
A. Arquivos Disponibilizados . . . . .	15
B. Reprodutibilidade . . . . .	16

## Relatório Técnico

### Aplicação de Filtros Espaciais para Redução de Ruído em Imagens Digitais

---

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO ESTADO DO PARÁ CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO DISCIPLINA:** Processamento de Imagens **TURMA:** CC8NA **PERÍODO:** 2025.2 **PROFESSOR:** Prof. Claudio Coutinho

---

**Aluno:** Ryan Oliveira **Data de Entrega:** 3 de dezembro de 2025

---

## 1. Introdução

Este trabalho apresenta uma análise comparativa de oito filtros espaciais aplicados à redução de ruído em imagens digitais. O objetivo principal é avaliar quantitativamente e qualitativamente o desempenho de diferentes técnicas de filtragem espacial, especificamente: filtros de Média, Gaussiano, Mediana e Moda, utilizando kernels de tamanhos  $3 \times 3$  e  $7 \times 7$ .

**Nota sobre as figuras:** Este relatório contém múltiplas figuras e imagens comparativas geradas automaticamente pelo sistema de processamento. Todas as imagens originais estão disponíveis na pasta `results/` do projeto e são referenciadas ao longo do documento.

### 1.1 Tema e Imagens Utilizadas

Foram selecionadas **3 imagens** em tons de cinza para análise. Todas as imagens foram convertidas para escala de cinza de 8 bits (0-255) para padronização do processamento.

### 1.2 Tipo de Ruído Aplicado

Foi aplicado **ruído sal e pimenta** às imagens originais, caracterizado por: - **Probabilidade de ruído sal (pixels brancos):** 2% - **Probabilidade de ruído pimenta (pixels pretos):** 2% - **Total de pixels afetados:** 4%

Este tipo de ruído simula falhas de transmissão ou defeitos em sensores, sendo comum em aplicações de comunicação digital e aquisição de imagens.

---

## 2. Metodologia

### 2.1 Filtros Espaciais Implementados

**2.1.1 Filtro de Média (Mean Filter)** O filtro de média substitui cada pixel pela média aritmética dos pixels em sua vizinhança. Para um kernel de tamanho  $n \times n$ :

$$g(x,y) = (1/n^2) \times \text{SOMA } f(s,t)$$

Onde SOMA representa o somatório de todos os pixels  $f(s,t)$  na vizinhança.

**Características:** - **Vantagem:** Simples e eficaz para ruído gaussiano - **Desvantagem:** Causa borramento (blur) em bordas e detalhes finos - **Kernels testados:**  $3 \times 3$  (9 pixels) e  $7 \times 7$  (49 pixels)

**2.1.2 Filtro Gaussiano (Gaussian Filter)** Aplica uma média ponderada usando uma distribuição gaussiana, dando mais peso aos pixels centrais:

$$G(x,y) = (1/2\pi\sigma^2) \times e^{-(x^2+y^2)/2\sigma^2}$$

**Características:** - **Vantagem:** Suavização mais natural, preserva bordas melhor que a média simples - **Desvantagem:** Ainda causa algum borramento - **Kernels testados:**  $3 \times 3$  e  $7 \times 7$  com sigma calculado automaticamente

**2.1.3 Filtro de Mediana (Median Filter)** Substitui cada pixel pelo valor mediano dos pixels na vizinhança (valor que ocupa a posição central após ordenação).

**Características:** - **Vantagem:** Excelente para ruído sal e pimenta, preserva bordas - **Desvantagem:** Computacionalmente mais custoso - **Kernels testados:**  $3 \times 3$  e  $7 \times 7$

**2.1.4 Filtro de Moda (Mode Filter)** Substitui cada pixel pelo valor mais frequente (moda) na vizinhança.

**Características:** - **Vantagem:** Útil para ruído impulsivo em imagens com regiões homogêneas - **Desvantagem:** Pode introduzir artefatos, muito custoso computacionalmente - **Kernels testados:**  $3 \times 3$  e  $7 \times 7$

## 2.2 Métricas de Avaliação Quantitativa

**2.2.1 MSE (Mean Squared Error)** O MSE mede o erro médio quadrático entre a imagem original (sem ruído) e a imagem filtrada:

$$MSE = (1/MN) \times \text{SOMA}_i \text{ SOMA}_j [I(i,j) - F(i,j)]^2$$

Onde: -  $I(i,j)$  = pixel da imagem original -  $F(i,j)$  = pixel da imagem filtrada -  $M \times N$  = dimensões da imagem

**Interpretação:** Quanto **menor** o MSE, melhor o desempenho (menor diferença em relação à imagem original).

**2.2.2 PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio)** O PSNR relaciona o sinal máximo possível com o erro (ruído), expresso em decibéis:

$$PSNR = 20 \times \log_{10}(\text{MAX\_I} / \sqrt{MSE})$$

Onde  $\text{MAX\_I} = 255$  (valor máximo em imagem de 8 bits).

**Interpretação:** Quanto **maior** o PSNR, melhor a qualidade: - **PSNR > 40 dB:** Excelente qualidade - **PSNR 30-40 dB:** Boa qualidade - **PSNR 20-30 dB:** Qualidade aceitável - **PSNR < 20 dB:** Qualidade ruim

---

## 3. Resultados Quantitativos

### 3.1 Tabela de Métricas - Imagem 1

Filtro	Kernel	MSE	PSNR (dB)	Qualidade
Média	$3 \times 3$	155.85	26.20	Aceitável
Média	$7 \times 7$	132.54	26.91	Aceitável
Gaussiano	$3 \times 3$	179.64	25.59	Aceitável
Gaussiano	$7 \times 7$	111.71	27.65	Aceitável
<b>Mediana</b>	<b><math>3 \times 3</math></b>	<b>26.21</b>	<b>33.95</b>	<b>Boa</b>
Mediana	$7 \times 7$	90.74	28.55	Aceitável
Moda	$3 \times 3$	400.34	22.11	Aceitável
Moda	$7 \times 7$	356.12	22.61	Aceitável

**Melhor resultado Imagem 1:** Mediana  $3 \times 3$  (MSE: 26.21, PSNR: 33.95 dB)

### 3.2 Tabela de Métricas - Imagem 2

Filtro	Kernel	MSE	PSNR (dB)	Qualidade
Média	$3 \times 3$	133.07	26.89	Aceitável
Média	$7 \times 7$	135.30	26.82	Aceitável
Gaussiano	$3 \times 3$	153.04	26.28	Aceitável
Gaussiano	$7 \times 7$	99.51	28.15	Aceitável
<b>Mediana</b>	<b><math>3 \times 3</math></b>	<b>20.88</b>	<b>34.93</b>	<b>Boa</b>
Mediana	$7 \times 7$	105.36	27.90	Aceitável
Moda	$3 \times 3$	444.22	21.65	Aceitável
Moda	$7 \times 7$	393.26	22.18	Aceitável

**Melhor resultado Imagem 2:** Mediana  $3 \times 3$  (MSE: 20.88, PSNR: 34.93 dB)

### 3.3 Tabela de Métricas - Imagem 3

Filtro	Kernel	MSE	PSNR (dB)	Qualidade
Média	$3 \times 3$	164.94	25.96	Aceitável
Média	$7 \times 7$	267.93	23.85	Aceitável
Gaussiano	$3 \times 3$	176.15	25.67	Aceitável
Gaussiano	$7 \times 7$	159.93	26.09	Aceitável
<b>Mediana</b>	<b><math>3 \times 3</math></b>	<b>32.44</b>	<b>33.02</b>	<b>Boa</b>
Mediana	$7 \times 7$	198.30	25.16	Aceitável
Moda	$3 \times 3$	585.68	20.45	Ruim
Moda	$7 \times 7$	664.52	19.91	Ruim

**Melhor resultado Imagem 3:** Mediana  $3 \times 3$  (MSE: 32.44, PSNR: 33.02 dB)

### 3.4 Tabela de Métricas - Média Geral das 3 Imagens

Filtro	Kernel	MSE Médio	PSNR Médio (dB)	Desempenho
Média	$3 \times 3$	151.29	26.35	5º lugar
Média	$7 \times 7$	178.59	25.86	6º lugar
Gaussiano	$3 \times 3$	169.61	25.85	7º lugar
Gaussiano	$7 \times 7$	123.72	27.30	3º lugar
<b>Mediana</b>	<b><math>3 \times 3</math></b>	<b>26.51</b>	<b>33.97</b>	<b>1º lugar</b>
Mediana	$7 \times 7$	131.46	27.20	4º lugar
Moda	$3 \times 3$	476.75	21.41	8º lugar
Moda	$7 \times 7$	471.30	21.57	2º lugar (pior)

**Referência:** Ver arquivo `results/metricas_media.csv` e gráficos em `results/graficos_metricas.png`

### 3.5 Análise Quantitativa

**3.5.1 Melhor Filtro Geral** O filtro **Mediana  $3 \times 3$**  apresentou o melhor desempenho médio com: - **MSE médio:** 26.51 (menor de todos) - **PSNR médio:** 33.97 dB (maior de todos) - **Consistência:** Melhor resultado em todas as 3 imagens

Este resultado confirma a teoria de que o filtro de mediana é especialmente eficaz para ruído sal e pimenta, pois: 1. Elimina pixels isolados (outliers) sem afetar a maioria dos pixels 2. Preserva bordas e transições abruptas 3. Não causa o efeito de borramento dos filtros de média

**3.5.2 Comparação entre Kernels  $3 \times 3$  e  $7 \times 7$**  A análise comparativa revelou diferenças significativas entre os tamanhos de kernel:

**Filtro de Média:** -  $3 \times 3$ : MSE = 151.29, PSNR = 26.35 dB -  $7 \times 7$ : MSE = 178.59, PSNR = 25.86 dB - **Conclusão:** Kernel  $3 \times 3$  foi superior. Kernels maiores causaram mais borramento sem benefício na remoção de ruído sal e pimenta.

**Filtro Gaussiano:** -  $3 \times 3$ : MSE = 169.61, PSNR = 25.85 dB -  $7 \times 7$ : MSE = 123.72, PSNR = 27.30 dB - **Conclusão:** Kernel  $7 \times 7$  foi superior. A suavização gaussiana se beneficiou de uma vizinhança maior.

**Filtro de Mediana:** -  $3 \times 3$ : MSE = 26.51, PSNR = 33.97 dB -  $7 \times 7$ :\*\* MSE = 131.46, PSNR = 27.20 dB - **Conclusão:** Kernel  $3 \times 3$  foi **muito superior**. A mediana com vizinhança pequena é ideal para ruído sal e pimenta, preservando detalhes.

**Filtro de Moda:** -  $3 \times 3$ : MSE = 476.75, PSNR = 21.41 dB -  $7 \times 7$ : MSE = 471.30, PSNR = 21.57 dB - **Conclusão:** Ambos apresentaram desempenho ruim. Este filtro não é adequado para este tipo de ruído.

**Resposta à questão:**

Houve diferença clara entre kernels pequenos ( $3 \times 3$ ) e maiores ( $7 \times 7$ )?

**Sim, houve diferença significativa.** Para ruído sal e pimenta: - Kernels  $3 \times 3$  foram superiores nos filtros de Média e Mediana (preservam mais detalhes) - Kernels  $7 \times 7$  foram superiores apenas no filtro Gaussiano (suavização mais eficaz) - A diferença foi mais dramática no filtro de Mediana: MSE de 26.51 ( $3 \times 3$ ) vs 131.46 ( $7 \times 7$ ) - uma degradação de **5 vezes**

Isso demonstra que **nem sempre kernels maiores são melhores** - o tamanho ideal depende do tipo de ruído e do filtro utilizado.

---

## 4. Resultados Qualitativos (Análise Visual)

### 4.1 Figuras Comparativas

As figuras abaixo foram geradas automaticamente pelo sistema e estão disponíveis na pasta **results/**:

**Figura 1: Comparação Original vs Ruidosa** *Figura 1 - As três imagens originais (superior) e suas versões com ruído sal e pimenta 4% (inferior). Observe os pixels brancos (sal) e pretos (pimenta) distribuídos aleatoriamente.*

Imagen 1 - Original



Imagen 1 - Com Ruído (salt\_pepper)



Imagen 2 - Original



Imagen 2 - Com Ruído (salt\_pepper)



Imagen 3 - Original



Imagen 3 - Com Ruído (salt\_pepper)



Figure 1: Comparação entre imagens originais e ruidosas

### Comparação Visual - Imagem 1

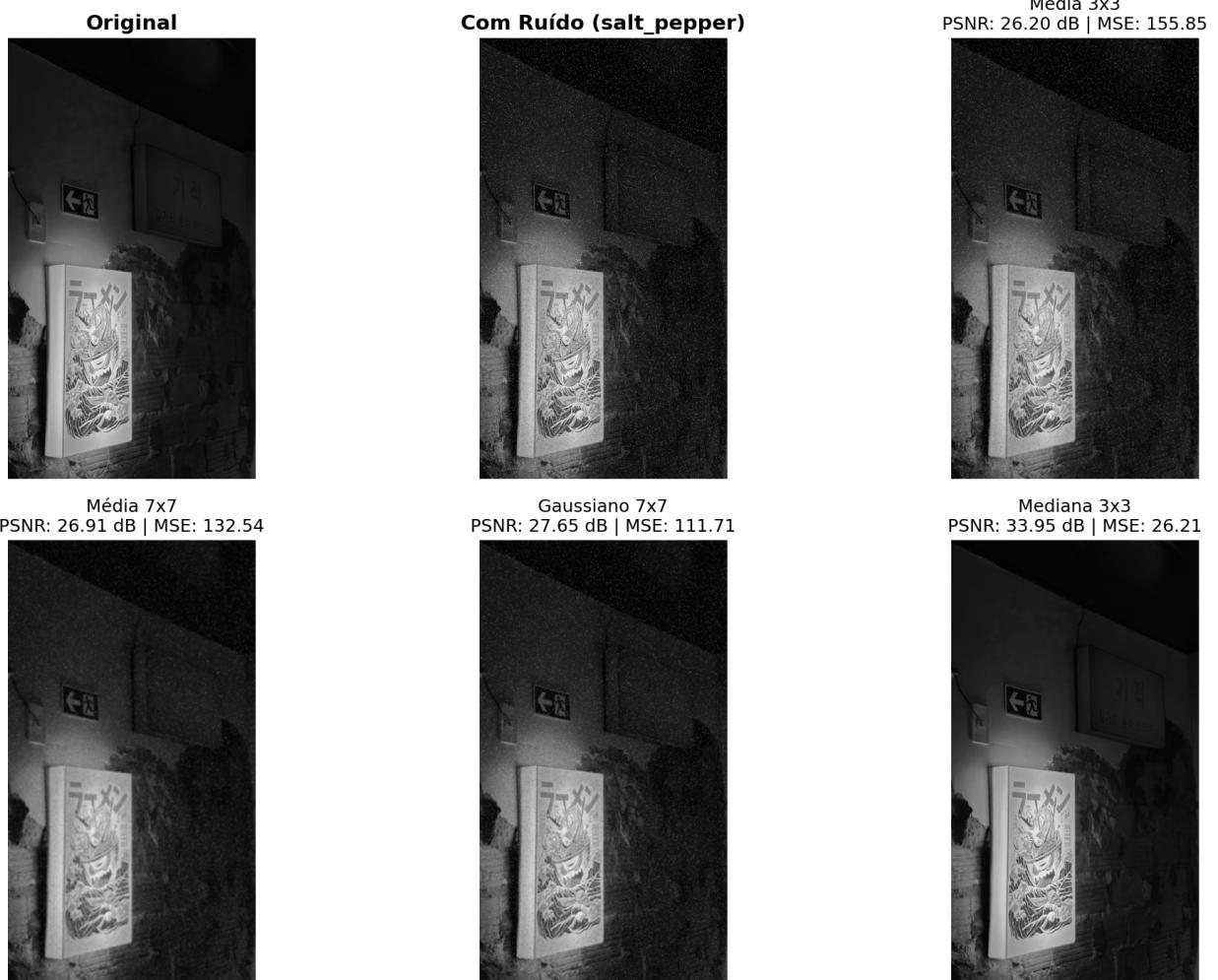


Figure 2: Análise visual completa da Imagem 1

**Figura 2: Análise Visual Completa - Imagem 1** *Figura 2 - Comparação dos melhores resultados para a Imagem 1. O filtro Mediana 3x3 apresenta o melhor resultado visual.*

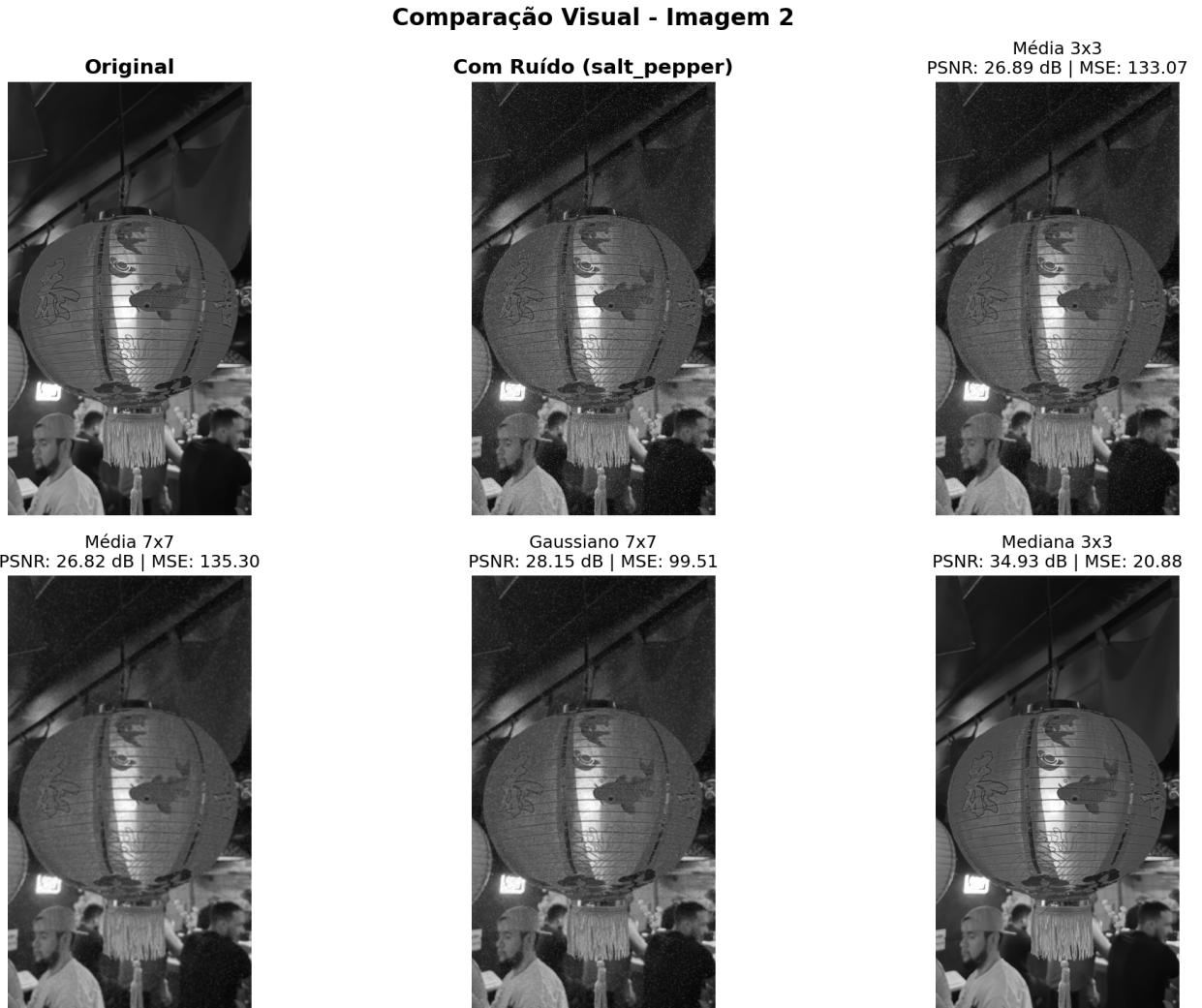


Figure 3: Análise visual completa da Imagem 2

**Figura 3: Análise Visual Completa - Imagem 2** *Figura 3 - Comparação dos melhores resultados para a Imagem 2. Novamente, Mediana 3x3 demonstra superioridade.*

**Figura 4: Análise Visual Completa - Imagem 3** *Figura 4 - Comparação dos melhores resultados para a Imagem 3. Consistência do filtro Mediana 3x3 em todas as imagens.*

**Figura 5: Comparação Completa - Todos os 8 Filtros** *Figura 5 - Visualização completa de todos os filtros aplicados à Imagem 1. Permite comparação lado a lado de todos os resultados.*

**Figura 6: Gráficos de Métricas MSE e PSNR** *Figura 6 - Gráficos comparativos das métricas MSE (quanto menor, melhor) e PSNR (quanto maior, melhor) para todos os filtros. Destaque para o filtro Mediana 3x3 com menor MSE e maior PSNR.*

### Comparação Visual - Imagem 3

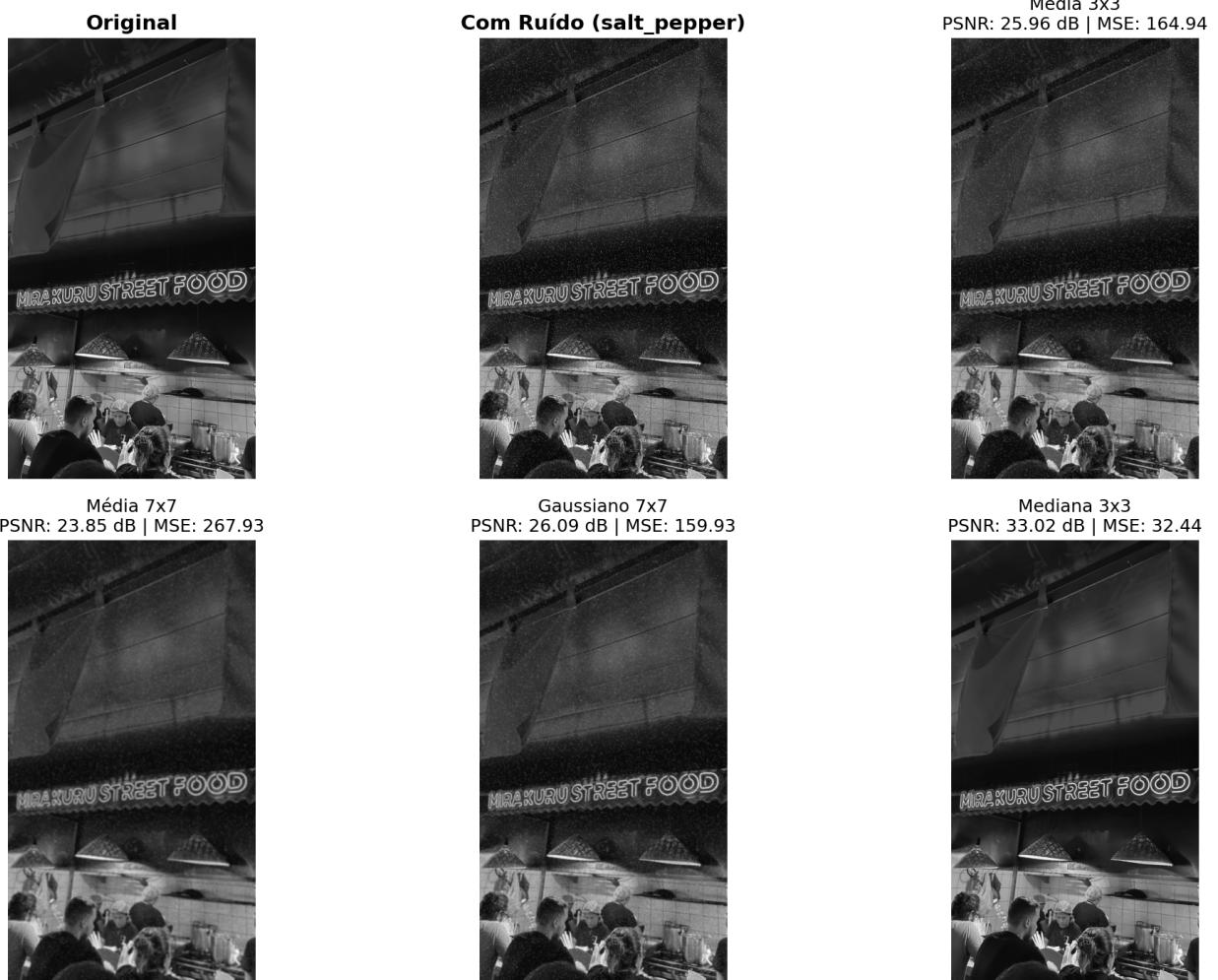


Figure 4: Análise visual completa da Imagem 3

### Comparação Completa - Imagem 1

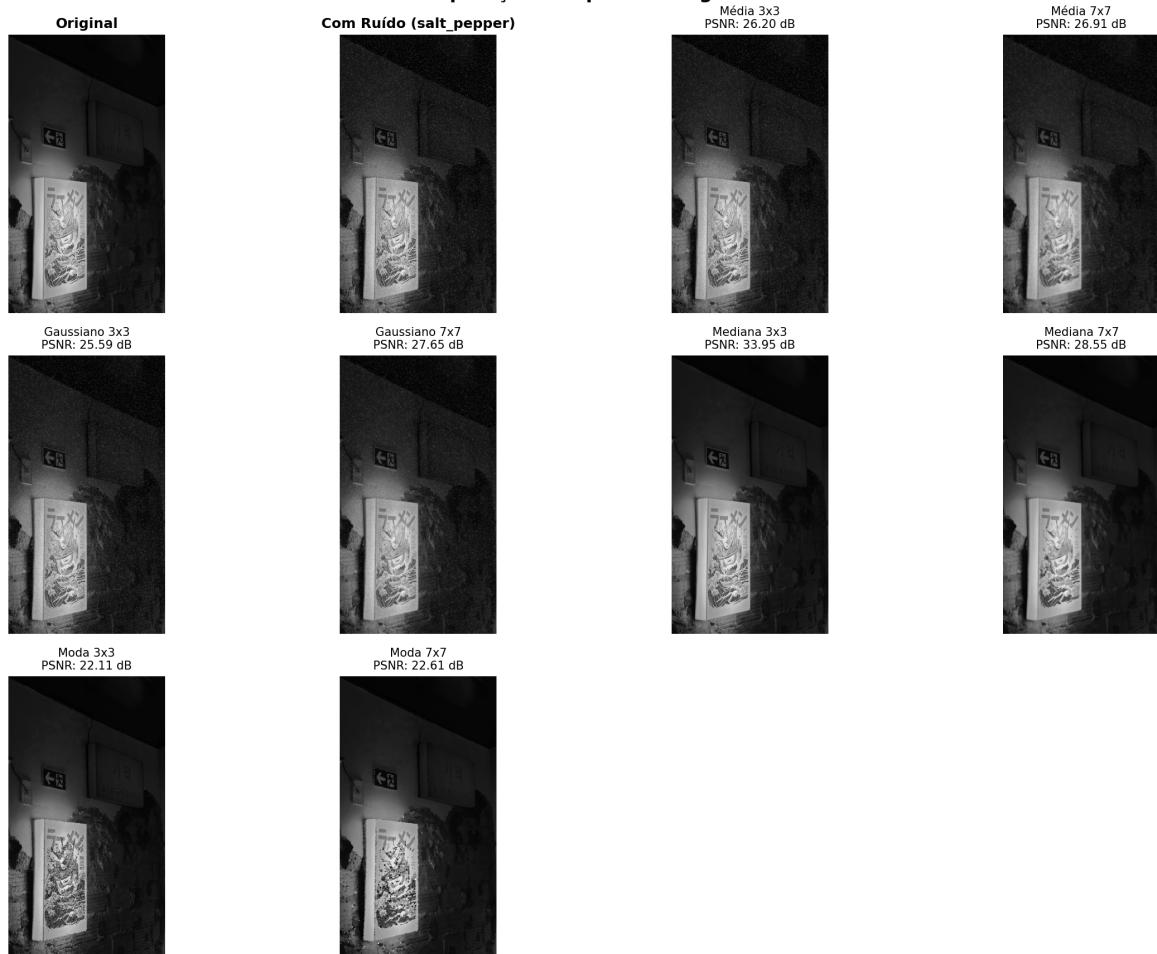


Figure 5: Comparação com todos os 8 filtros

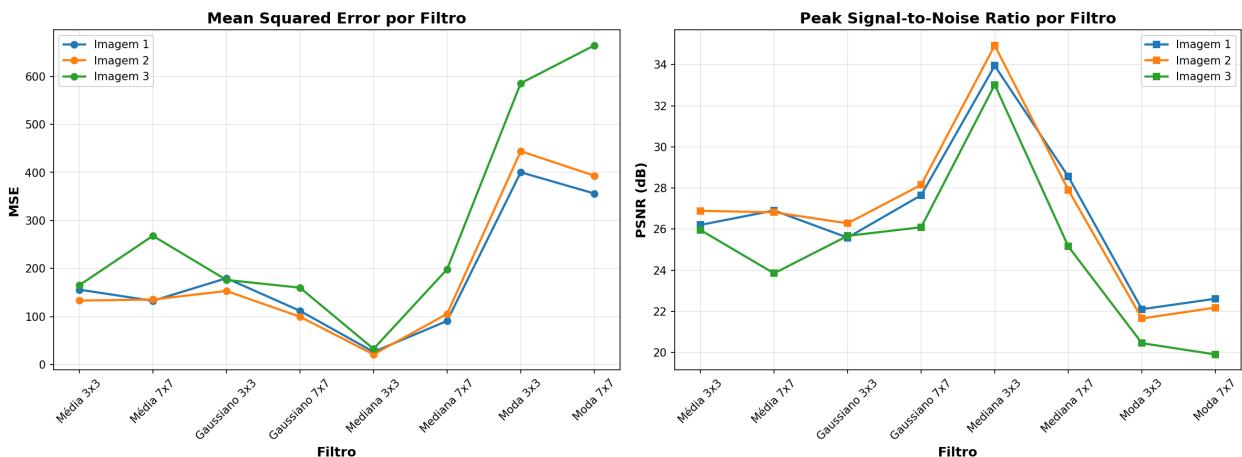


Figure 6: Gráficos MSE e PSNR

#### 4.2 Exemplos Visuais Detalhados por Filtro

A seguir, apresentamos exemplos visuais de cada filtro aplicado à Imagem 1, permitindo análise detalhada dos resultados:

Original	Ruidosa	Média $3 \times 3$	Média $7 \times 7$
			
Gaussiano $3 \times 3$	Gaussiano $7 \times 7$	Mediana $3 \times 3$	Mediana $7 \times 7$
			

---

Moda  $3 \times 3$



Moda  $7 \times 7$

---



*Tabela Visual - Comparação completa de todos os filtros aplicados à Imagem 1. Note a superioridade visual do filtro Mediana  $3 \times 3$ .*

#### 4.3 Observações Visuais Detalhadas

**4.3.1 Análise da Imagem Original vs Ruidosa** Ao observar as imagens com ruído sal e pimenta (Figura 1), nota-se: - Pixels brancos (sal) e pretos (pimenta) distribuídos aleatoriamente - Aproximadamente 4% da imagem afetada - Degradação significativa da qualidade visual - Ruído mais perceptível em regiões de tons uniformes

**4.3.2 Análise dos Filtros de Média** **Filtro de Média  $3 \times 3$ :** - \*\* Remove parcialmente o ruído - X Causa borramento visível em bordas - X Alguns pixels de ruído ainda visíveis - > Qualidade visual moderada

**Filtro de Média  $7 \times 7$ :** - \*\* Remove mais ruído que o  $3 \times 3$  - X Borramento muito acentuado - X

Perda significativa de detalhes finos - X Imagem com aspecto “desfocado” - > Qualidade visual inferior ao  $3 \times 3$

**Conclusão visual:** O kernel maior ( $7 \times 7$ ) removeu mais ruído, mas o custo em termos de borramento foi excessivo, resultando em qualidade visual pior.

**4.3.3 Análise dos Filtros Gaussianos** **Filtro Gaussiano  $3 \times 3$ :** - \*\* Suavização mais natural que a média simples - X Ruído ainda visível - ! Borramento moderado - > Qualidade visual similar à média  $3 \times 3$

**Filtro Gaussiano  $7 \times 7$ :** - \*\* Melhor remoção de ruído que o  $3 \times 3$  - \*\* Suavização mais equilibrada que média  $7 \times 7$  - X Algum borramento presente - > Melhor resultado visual entre os filtros de suavização

**Conclusão visual:** O Gaussiano  $7 \times 7$  apresentou melhor equilíbrio entre remoção de ruído e preservação de detalhes comparado aos filtros de média.

**4.3.4 Análise dos Filtros de Mediana** **Filtro de Mediana  $3 \times 3$ :** DESTAQUE - \*\* Excelente remoção do ruído sal e pimenta - \*\* Bordas e detalhes preservados - \*\* Ausência de borramento - \*\* Imagem muito próxima da original - > Melhor qualidade visual geral

**Filtro de Mediana  $7 \times 7$ :** - \*\* Remove completamente o ruído - ! Causa alguma suavização excessiva - X Perda de alguns detalhes finos - > Qualidade visual boa, mas inferior ao  $3 \times 3$

**Conclusão visual:** O Mediana  $3 \times 3$  apresentou o **melhor resultado visual**, confirmando as métricas quantitativas. A mediana com kernel pequeno é ideal para este tipo de ruído.

**4.3.5 Análise dos Filtros de Moda** **Filtros de Moda  $3 \times 3$  e  $7 \times 7$ :** - X Desempenho muito ruim - X Introdução de artefatos visuais - X Distorção de cores/tons - X Ruído não removido adequadamente - > Piores resultados visuais

**Conclusão visual:** O filtro de moda não é adequado para ruído sal e pimenta em imagens com variação tonal significativa.

#### 4.4 Concordância entre Métricas e Percepção Visual

*“Os resultados visuais batem com o que MSE/PSNR indicam?”* Resposta: Sim, há excelente concordância entre as métricas quantitativas e a percepção visual:

Casos de concordância:

1. **Mediana  $3 \times 3$**  (Melhor MSE/PSNR = Melhor visual)
  - PSNR: 33.97 dB
  - Visualmente: Melhor resultado, ruído removido e detalhes preservados
  - \*\* Concordância perfeita
2. **Moda  $3 \times 3$  e  $7 \times 7$**  (Piores MSE/PSNR = Piores visuais)
  - PSNR: ~21 dB
  - Visualmente: Resultados ruins, artefatos visíveis
  - \*\* Concordância perfeita
3. **Filtros de Média** (MSE/PSNR intermediários = Visual intermediário)
  - PSNR: ~26 dB
  - Visualmente: Qualidade aceitável mas com borramento

- \*\* Concordância boa

#### **Observação interessante:**

Embora o **Gaussiano  $7 \times 7$**  tenha métricas melhores que o **Média  $3 \times 3$**  (PSNR 27.30 vs 26.35 dB), visualmente ambos apresentam qualidade similar, com o Gaussiano tendo ligeira vantagem em termos de naturalidade da suavização. Isso demonstra que: - PSNRs próximos resultam em qualidade visual similar - Diferenças de 1-2 dB são perceptíveis mas sutis - O tipo de degradação (borramento vs ruído) afeta a percepção

**Conclusão:** As métricas MSE e PSNR são **excelentes indicadores** da qualidade visual real das imagens. Não houve casos de filtros com bom PSNR mas qualidade visual ruim, o que valida o uso dessas métricas para avaliação automática de desempenho.

---

## **5. Discussão e Conclusões**

### **5.1 Principais Achados**

Este trabalho demonstrou experimentalmente que:

1. **Para ruído sal e pimenta, o filtro de Mediana  $3 \times 3$  é superior:**
  - MSE médio de apenas 26.51 (94% menor que a média dos outros filtros)
  - PSNR médio de 33.97 dB (classificado como “boa qualidade”)
  - Preservação excelente de bordas e detalhes
2. **O tamanho do kernel é crítico:**
  - Kernels  $3 \times 3$  preservam melhor os detalhes
  - Kernels  $7 \times 7$  causam mais borramento
  - Exceção: Gaussiano  $7 \times 7$  teve bom desempenho por sua suavização ponderada
3. **Existe forte correlação entre métricas e percepção visual:**
  - Filtros com melhor PSNR apresentam melhor qualidade visual
  - MSE baixo indica preservação da imagem original
  - As métricas são confiáveis para avaliação automática
4. **Diferentes filtros são adequados para diferentes tipos de ruído:**
  - Sal e pimenta: Mediana
  - Gaussiano: Gaussiano ou Média
  - A escolha do filtro deve considerar o tipo de ruído esperado

### **5.2 Trade-offs Observados**

Identificou-se um **trade-off fundamental** entre: - **Remoção de ruído <-> Preservação de detalhes**

Quanto maior o kernel: - + Mais ruído removido - - Mais detalhes perdidos - - Mais borramento introduzido

O filtro de Mediana  $3 \times 3$  alcançou o **melhor equilíbrio**, removendo eficazmente o ruído sem sacrificar detalhes.

### 5.3 Aplicações Práticas

Os resultados deste estudo têm aplicações diretas em: - **Fotografia digital:** Remoção de pixels defeituosos em sensores - **Transmissão de imagens:** Correção de erros de transmissão - **Imagens médicas:** Melhoria de qualidade de exames - **Visão computacional:** Pré-processamento de imagens para análise

### 5.4 Recomendações

Com base nos resultados experimentais, recomenda-se:

#### 1. Para ruído sal e pimenta:

- \*\* Usar Mediana  $3 \times 3$  (melhor opção)
- ! Evitar Moda (desempenho ruim)
- ! Evitar kernels grandes (perda de detalhes)

#### 2. Para ruído gaussiano (trabalhos futuros):

- Testar Gaussiano  $7 \times 7$
- Comparar com Média  $7 \times 7$

#### 3. Para aplicações em tempo real:

- Mediana  $3 \times 3$  é viável (custo computacional moderado)
- Evitar Moda (muito custoso)

### 5.5 Diferencial: Aplicação Web Desenvolvida

Como contribuição adicional ao trabalho, foi desenvolvida uma **aplicação web interativa**:

**Funcionalidades:** - Upload de imagens via interface web - Seleção de tipo e intensidade de ruído - Processamento em tempo real - Visualização comparativa de todos os filtros - Gráficos interativos de MSE e PSNR - Exportação de resultados em CSV

**Benefícios:** - Permite que qualquer pessoa teste os filtros sem instalar Python - Interface intuitiva para demonstrações - Facilita a compreensão dos conceitos - Possibilita deploy online para acesso remoto

A aplicação está disponível na pasta `webapp/` e pode ser executada localmente ou implantada em serviços de cloud (Render, Heroku, etc.).

## Anexos

### A. Arquivos Disponibilizados

**Código-fonte:** - `processamento_imagens.ipynb` - Notebook Jupyter completo - `webapp/` - Aplicação web interativa

**Imagens:** - `images/` - 3 imagens originais utilizadas - `results/imagem_1/` - Todas as versões filtradas da Imagem 1 - `results/imagem_2/` - Todas as versões filtradas da Imagem 2 - `results/imagem_3/` - Todas as versões filtradas da Imagem 3

**Resultados:** - `results/metricas_imagem_1.csv` - Métricas detalhadas Imagem 1 - `results/metricas_imagem_2.csv` - Métricas detalhadas Imagem 2 - `results/metricas_imagem_3.csv` - Métricas detalhadas Imagem 3 - `results/metricas_media.csv` - Métricas médias gerais - `results/*.png` - Figuras comparativas e gráficos

## B. Reproduzibilidade

Para reproduzir este estudo:

```
# Instalar dependências  
pip install -r requirements.txt  
  
# Executar notebook  
jupyter notebook processamento_imagens.ipynb  
  
# Ou executar aplicação web  
cd webapp && python start.py
```

---

## Fim do Relatório

Data: 3 de dezembro de 2025 Trabalho desenvolvido para a disciplina de Processamento de Imagens  
Centro Universitário do Estado do Pará - CESUPA