



Transformações de Intensidade Ponto-a-Ponto

Visão Computacional

Pontifícia Universidade Católica de Campinas

Prof. Dr. Denis M. L. Martins

Objetivos de Aprendizagem

- **Compreender** os fundamentos matemáticos das transformações de intensidade ponto-a-ponto.
- **Identificar** as principais funções radiométricas (linear, gama, logarítmica) e suas aplicações em contextos reais.
- **Implementar** algoritmos de transformação em código (Python).
- **Avaliar** o impacto das transformações sobre a distribuição de intensidades usando histogramas e visualizações.

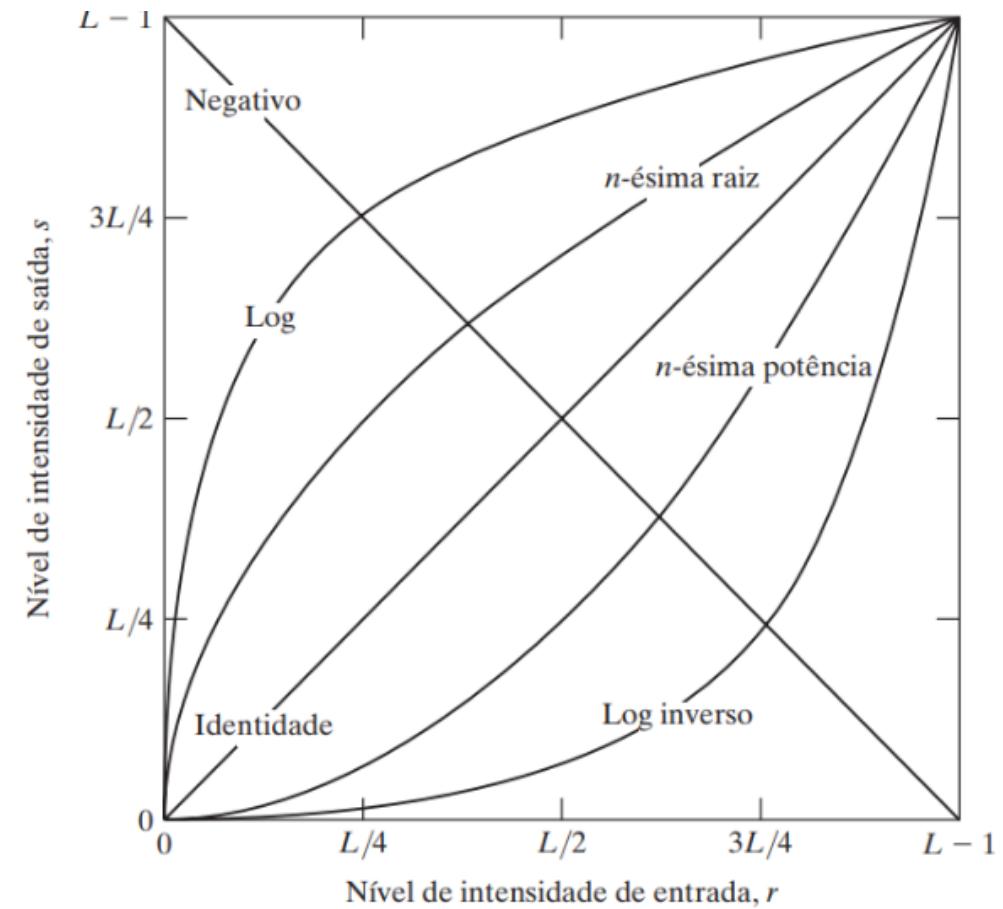


Transformações no Domínio Espacial

- **Objetivo:** modificar a distribuição dos níveis de cinza ou cor de uma imagem para realçar características, ajustar contraste ou preparar dados para etapas posteriores.
- **Espacial:** Modificação **direta** nos pixels no plano da imagem.
- **Princípio:** cada pixel $f(x, y)$ é convertido em um novo valor $g(x, y) = T(f(x, y))$ através de uma função de transformação $T(\cdot)$.
- **Transformações Radiométricas:** Operam apenas sobre os valores de intensidade dos pixels.
 - **Não alteram a localização espacial dos pixels .**
- **Filtragem Espacial:** Envolve a combinação de um pixel com seus vizinhos por meio de operadores convolucionais ou morfológicos.
 - **Alteram o conteúdo espacial .**

Transformações Radiométricas

- Funções radiométricas mais básicas aplicadas na transformação de intensidade
- Utilizadas para o realce de imagens.
- Tipos de Transformações
 - Lineares (ex.: contraste linear, subtração, soma)
 - Não lineares (ex.: logarítmica, gamma, equalização de histograma)
 - Baseadas em estatísticas locais (ex.: normalização por janela, stretching adaptativo)
- Realce: geralmente para minimizar na imagem efeitos de ruídos, perda de contraste, borramento e distorções.



Funções de transformação de intensidade. Fonte: COVAP-UTFPR.

Negativo de uma Imagem

O negativo **inverte a escala de brilho**: pixels claros tornam-se escuros e vice-versa.

- **Formulação Matemática:** $g(x, y) = L_{\max} - f(x, y)$,
 - $f(x, y)$ é a intensidade original
 - $g(x, y)$ o negativo
 - L_{\max} o nível máximo possível (e.g., 255 para 8-bits).
- **Histórico:** Na fotografia analógica, o papel fotográfico reproduzia um negativo que era então inverso do filme; a inversão era necessária para produzir uma imagem positiva em exibição.
- **Aplicações:** Detecção de **falhas** em processos industriais (ex.: inspeção de circuitos onde componentes brilhantes podem mascarar defeitos). Facilita a **identificação de detalhes** em regiões de alta luminosidade que, na forma original, são saturadas.

Negativo de uma Imagem: Exemplo Numérico e Visual

- Em 8-bits: $f(100) = 255 - 100 = 155$, $f(250) = 255 - 250 = 5$
- Pixels muito claros tornam-se escuros; pixels escuros tornam-se quase brancos.



Isadora Renascentista: original em escala de cinza (à esquerda) e negativo (à direita).

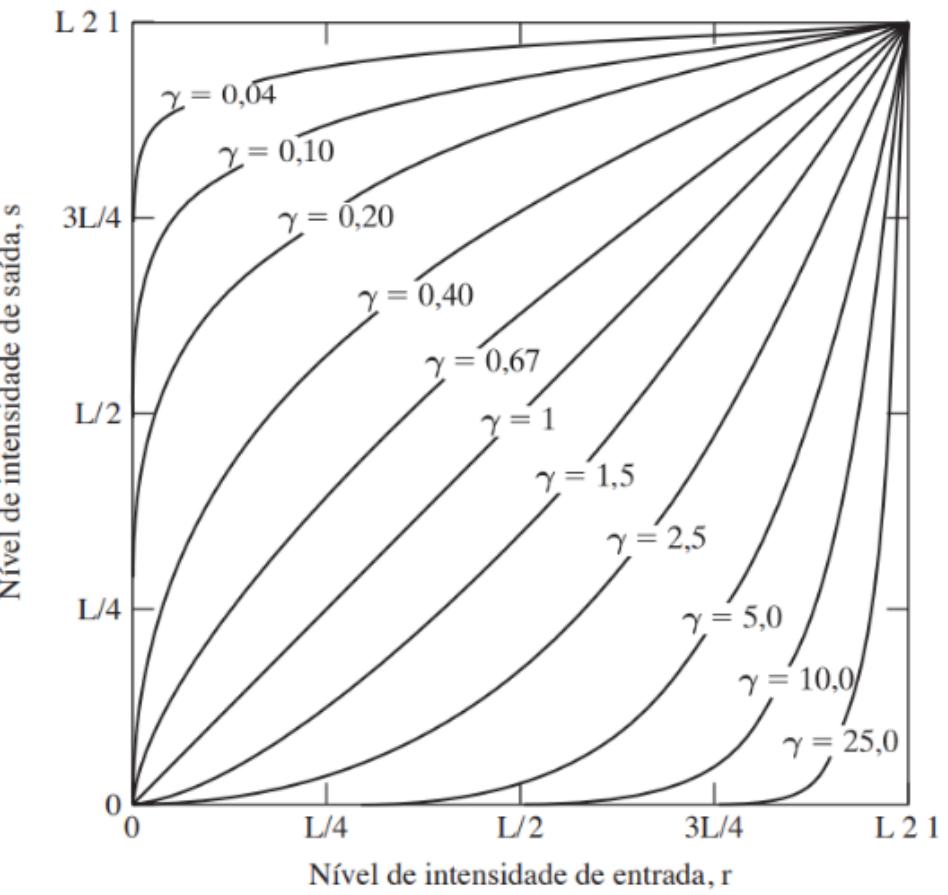
Transformação Logarítmica

A função logarítmica comprime valores altos e expande baixos, **aumentando contraste** em trechos escuros.

- **Formulação Matemática:** $g(x, y) = c \log(1 + f(x, y))$
 - c escala a saída para o intervalo desejado.
- Se $f(x, y) = 200$ (8-bits), com $c = 1$: $g \approx \log(201) \approx 5.3$.
 - Escalando por $255/5.3 \approx 48$, obtemos ~254, preservando brilho máximo.
- **Aplicação:** reduzir diferenças de brilho entre sombras e highlights.
- **Compressão dinâmica:** valores altos de f são comprimidos, reduzindo saturação em highlights.
- **Amplificação de sombras:** valores baixos de f são expandidos, revelando detalhes em regiões escuras.

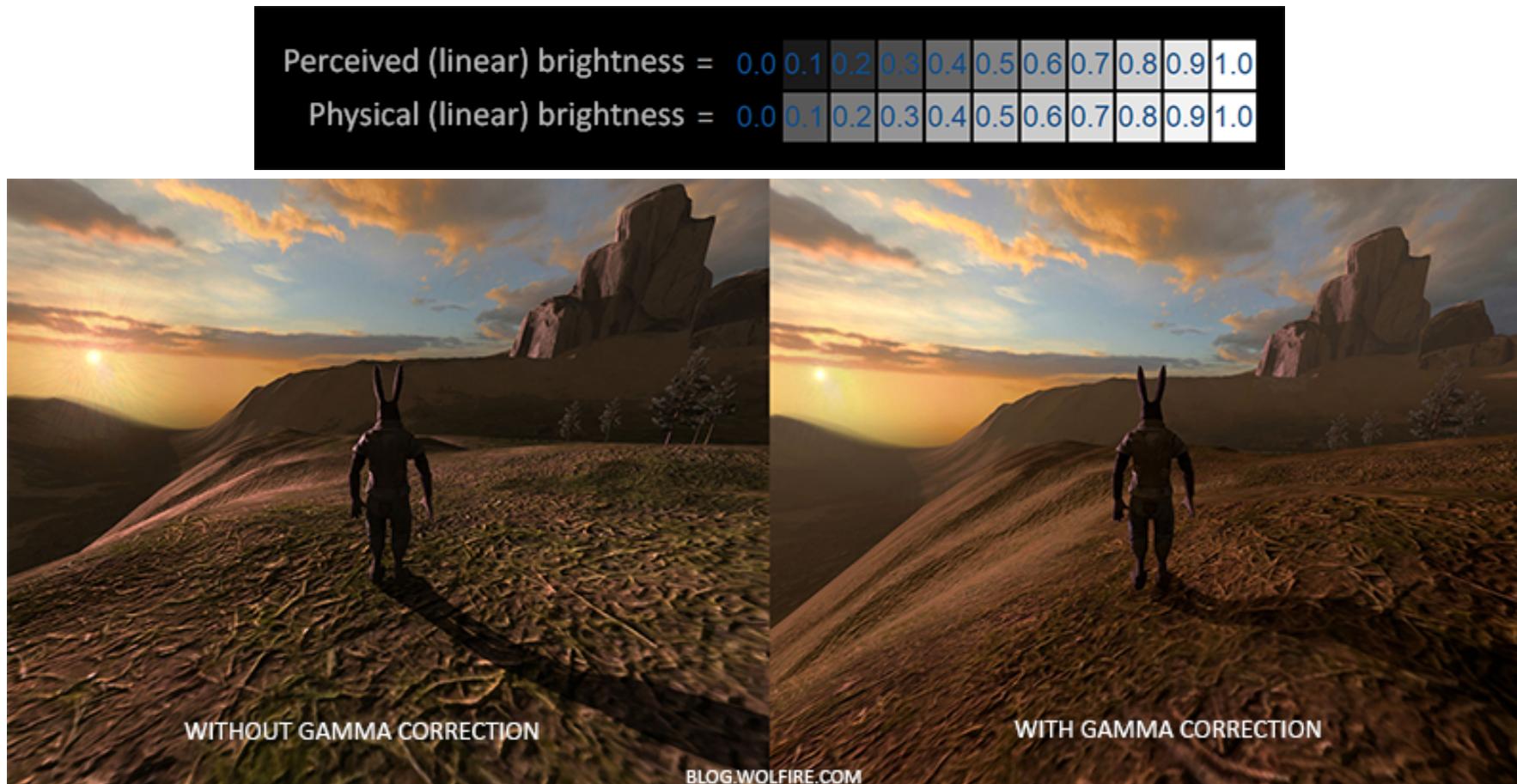
Transformação de Potência (Gama)

- Ajusta a relação linear entre intensidade de entrada e saída.
- **Formulação Matemática:**
$$g(x, y) = c f(x, y)^\gamma$$
 - $\gamma < 1$: realça trechos escuros
 - $\gamma > 1$: realça trechos claros.
- Para garantir que o valor máximo não ultrapasse L_{\max} : $c = \frac{L_{\max}}{(L_{\max})^\gamma}$
- Exemplo: para **8-bits**, $L_{\max} = 255$ e $\gamma = 0.4$, temos $c = 255/255^{0.4} \approx 1.5$.
- Monitores CRT e LCD têm resposta não linear; a **correção de gamma** (≈ 2.2) torna a imagem perceptualmente linear.

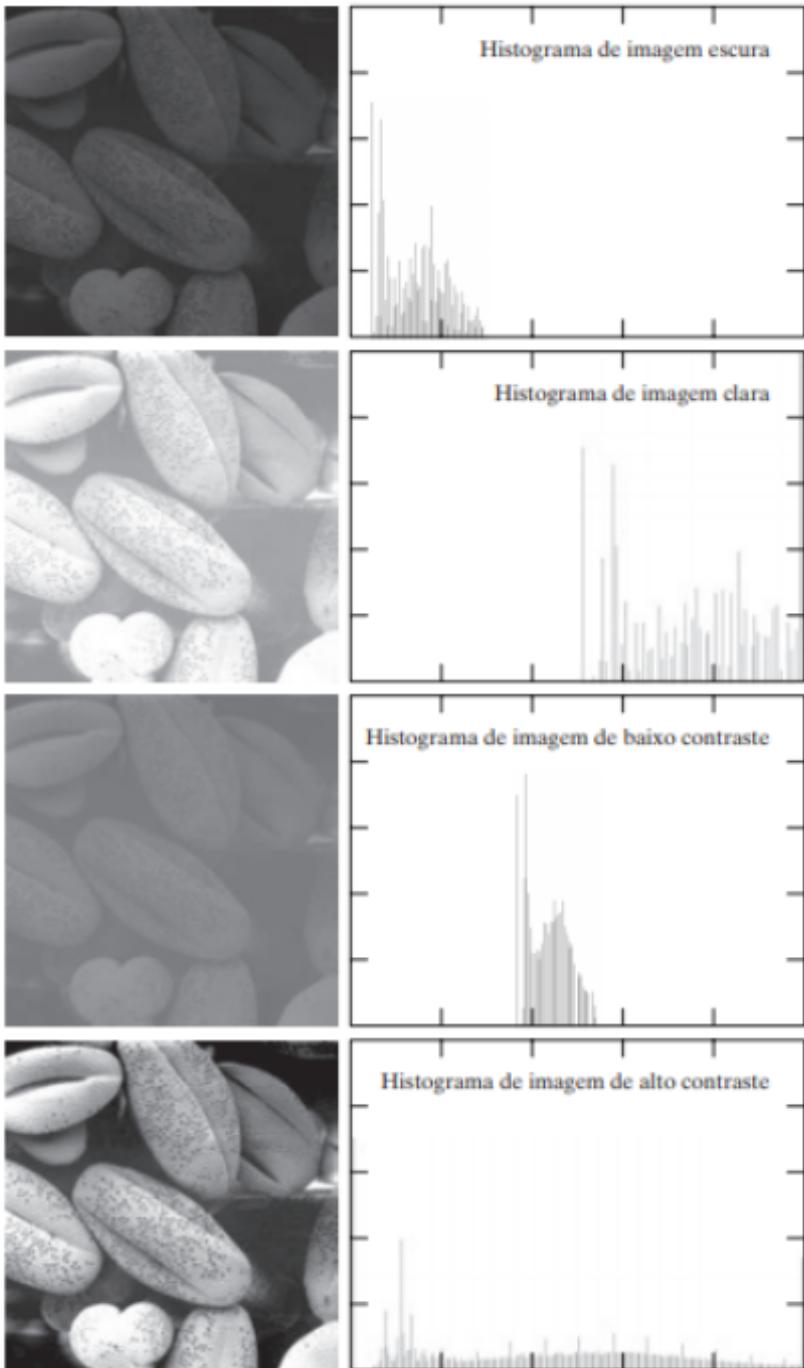


Funções de transformação de intensidade. Fonte: COVAP-UTFPR.

Exemplo de Transformação de Potência (Gama)



Comparação de iluminação sem/com correção gama. Fonte das Imagens: [Learn OpenGL](#).



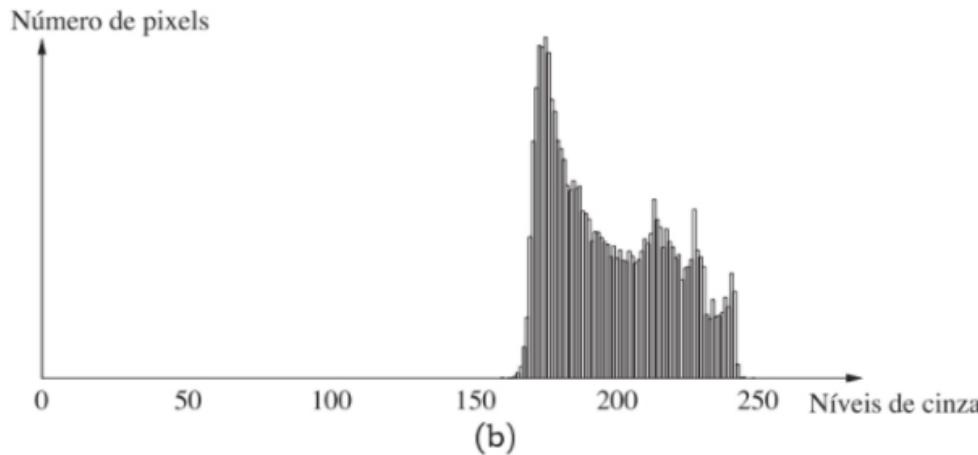
Equalização de Histograma

- **Histograma**: distribuição de frequências $p_f(r_k)$.
- **Transf. cumulativa**: $T(r_k) = (L_{\max}) \sum_{i=0}^k p_f(r_i)$
- **Saída**: $g(x, y) = T(f(x, y))$.
- **Algoritmo**:
 - Passo 1: Calcular histograma normalizado p_f .
 - Passo 2: Computar transformador cumulativo $T(r_k)$.
 - Passo 3: Aplicar $g(x, y) = T(f(x, y))$.
- **Resultado**: Imagem com contraste uniforme, adequado para imagens de baixa iluminação ou quando o histograma está concentrado em poucos níveis.
- Na imagem (à esquerda): Histogramas de uma imagem com grãos de pólen. De cima para baixo: escura, clara, baixo contraste e alto contraste. Fonte: [COVAP-UTFPR](#).

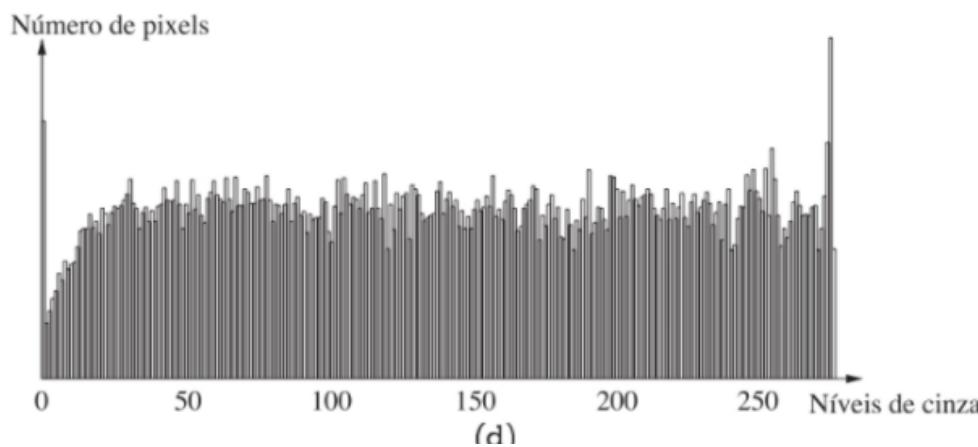
Equalização de Histograma (cont.)



(a)



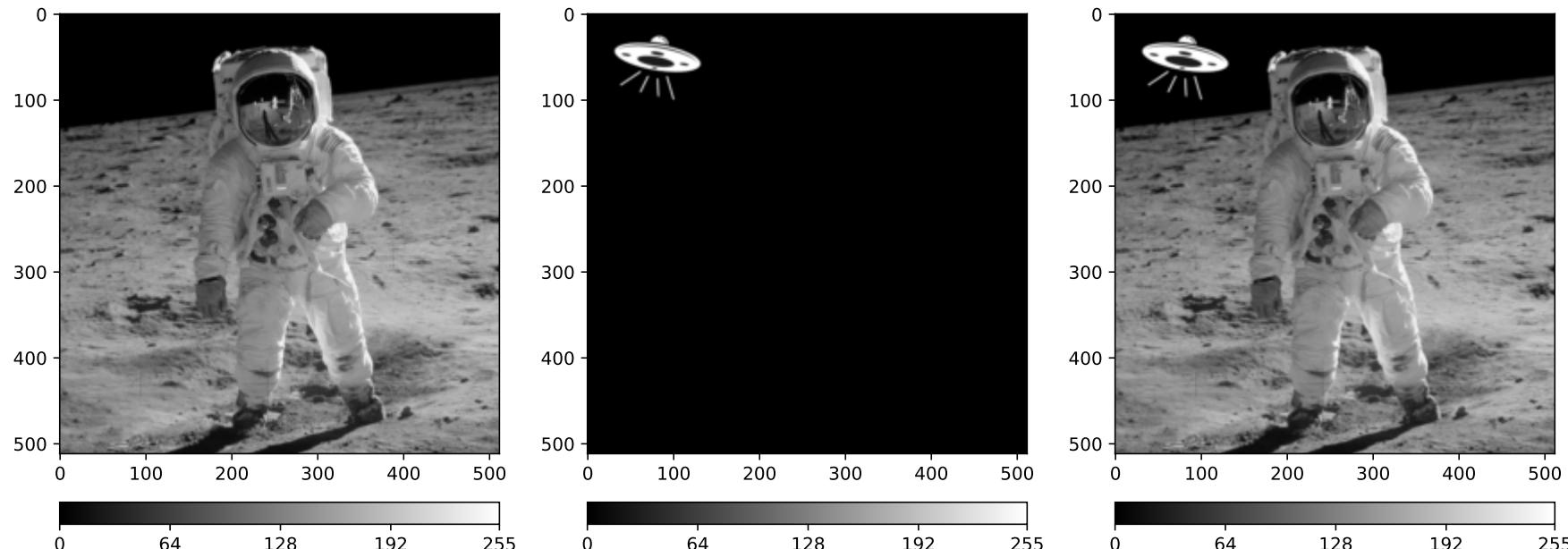
(c)



Resultado da equalização de histograma. Fonte: [COVAP-UTFPR](#).

Extra: Operações Aritméticas em Imagens

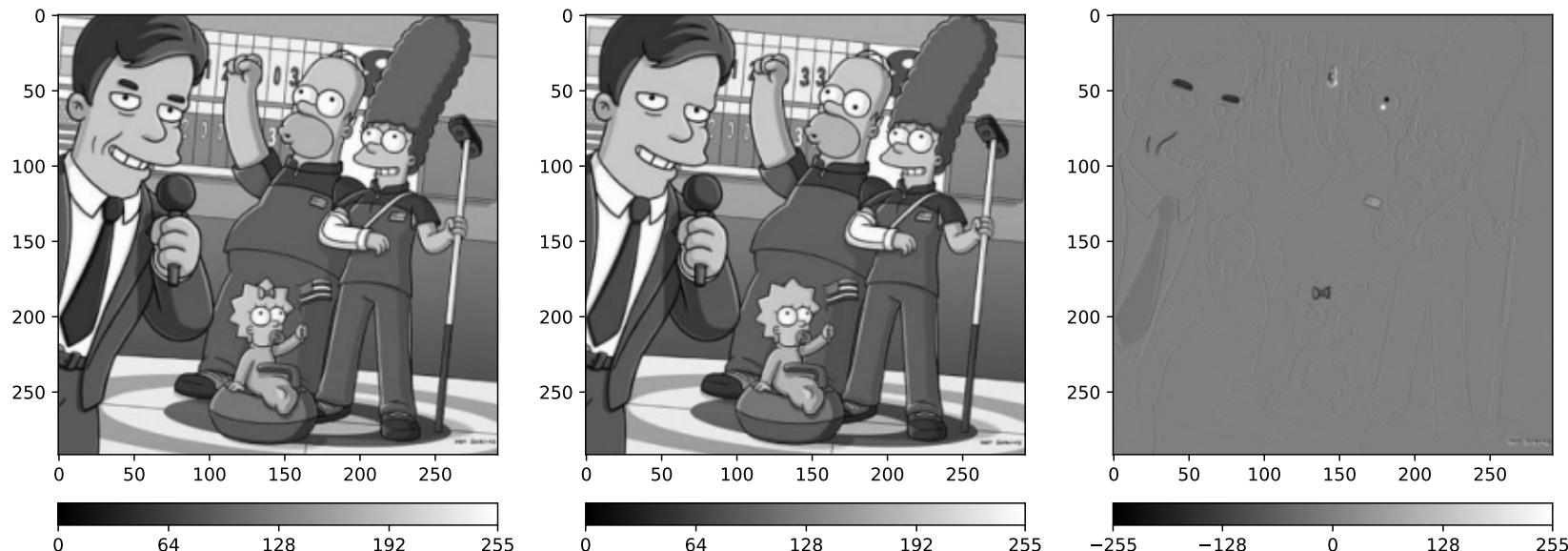
- **Adição:** $\forall x, y, \quad g(x, y) = f_1(x, y) + f_2(x, y)$, onde f_1, f_2 são imagens de mesma dimensionalidade.
- Valores resultantes podem exceder a faixa $[0, L_{\max}]$; geralmente se aplica saturação:
$$g(x, y) = \min(L_{\max}, f_1(x, y) + f_2(x, y))$$



Adição de duas imagens. Fonte: [Basics of Image Processing – Vincent Mazet \(Université de Strasbourg\)](#).

Extra: Operações Aritméticas em Imagens (cont.)

- **Subtração:** $\forall x, y, \quad g(x, y) = |f_1(x, y) - f_2(x, y)|$, onde f_1, f_2 são imagens de mesma dimensionalidade.

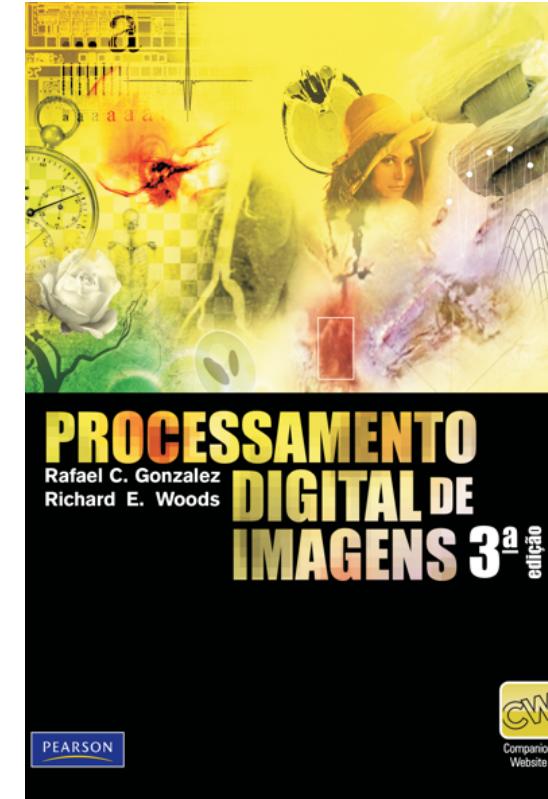


Subtração de duas imagens. Fonte: [Basics of Image Processing – Vincent Mazet \(Université de Strasbourg\)](#).

- **Uso típico:** detecção de movimento (subtração frame-a-frame), contraste diferencial em imagens médicas, remoção de fundo estático.
- **Normalização:** antes da subtração, alinhar as imagens e equalizar brilho para evitar artefatos de fase.

Resumo e Próximos Passos

- **Ideia geral:** $g(x, y) = T(f(x, y))$, onde f é a imagem original e $T(\cdot)$ um função de transformação.
- Transformações ponto-a-ponto são ferramentas fundamentais e simples que, quando aplicadas corretamente, **aumentam a utilidade** das imagens em diversas áreas.
- São utilizadas como etapa **pré-processamento** antes de filtragem espacial, detecção de bordas ou reconhecimento de padrões
- Transformações mal escolhidas **podem introduzir artefatos** visuais ou distorcer cores.
- **Próximos passos:** Implementar transformações e analisar resultados (prática).



Atividade recomendada: Leitura dos capítulo 3.

Perguntas e Discussão

1. Como a escolha da função $T(\cdot)$, e.g., linear, gama, logarítmica, **afeta a percepção visual** de contraste e detalhes finos na imagem resultante?
2. Em quais cenários a equalização de histograma pode **degradar a qualidade** de uma imagem em vez de melhorá-la?
3. Quais são as implicações computacionais de aplicar transformações ponto-a-ponto em tempo real versus offline? Quais os desafios de realizar essas transformações de **forma concorrente/paralela**?
4. Quais são os principais desafios ao subtrair duas imagens capturadas em **condições diferentes** (e.g., com iluminação variada)?
5. Como a representação em bits (8-bits vs 16-bits) **afeta a precisão** das operações aritméticas e a **preservação de informação**?