

# Processamento de Imagens Digitais

Prof. Antonio L. Apolinário Jr.

---

Bcc/Dcc/Ufba - 2014.2

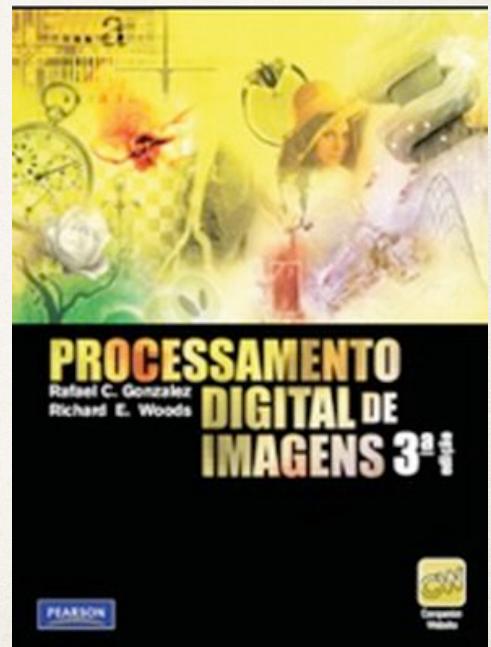
## Roteiro

---

- ❖ Conceitos básicos
- ❖ Histograma
- ❖ Transformações de Intensidade
- ❖ Transformações baseadas no histograma da imagem

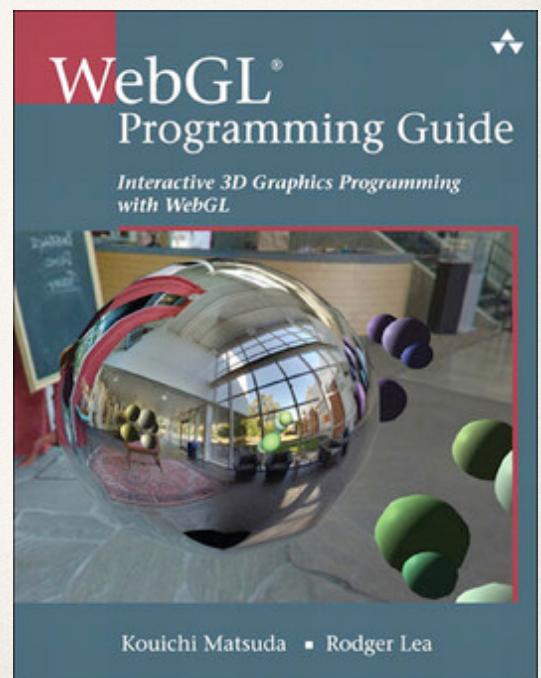
# Leitura de referencia

- Capítulo 2 e 3  
Processamento Digital de Imagens  
3<sup>a</sup>. edição  
GONZALEZ, R. C.  
WOODS, R. E.  
Pearson Education do Brasil, 2010.



# Leitura de referencia

- Capitulos 5  
**WebGL Programming Guide: Interactive 3D Graphics Programming with WebGL**  
1<sup>st</sup> edition  
Kouichi Matsuda, Rodger Lea.  
Addison-Wesley Professional - 2013.



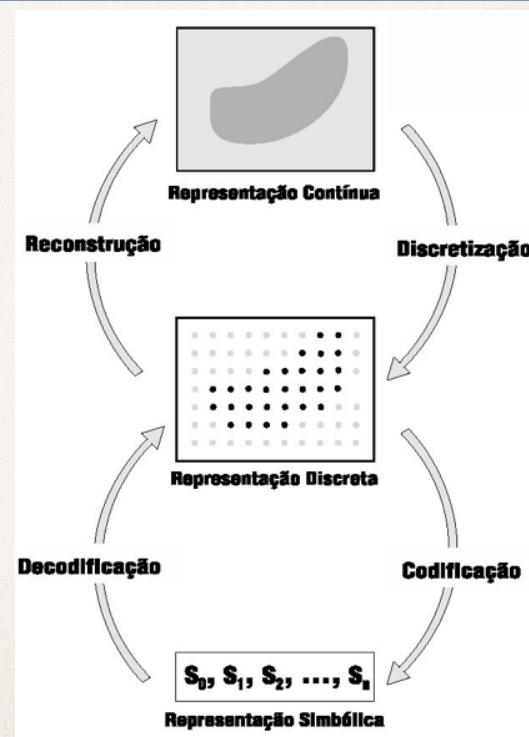
# Conceitos básicos

---

## Imagen Digital

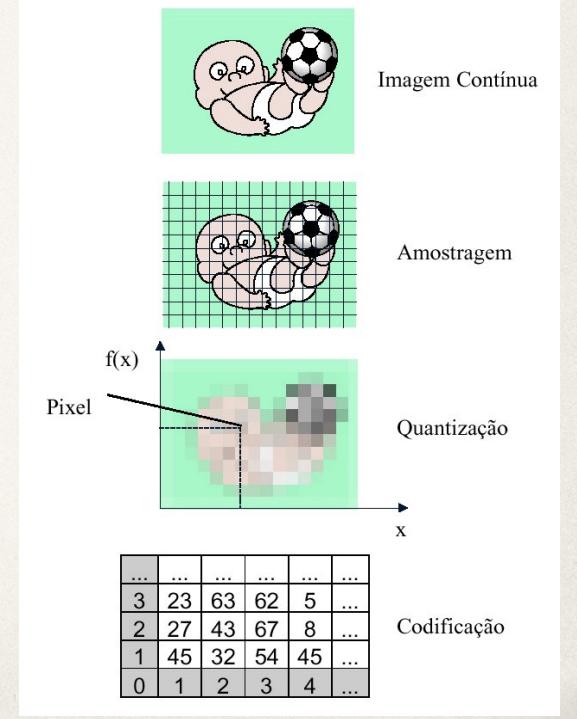
---

- ❖ Processos envolvidos
  - ❖ Discretização
  - ❖ Codificação
  - ❖ Decodificação
  - ❖ Reconstrução



# Imagen Digital

- Processos envolvidos
  - Discretização
  - Dispositivo
- Quantização e Codificação
  - Formato de armazenamento



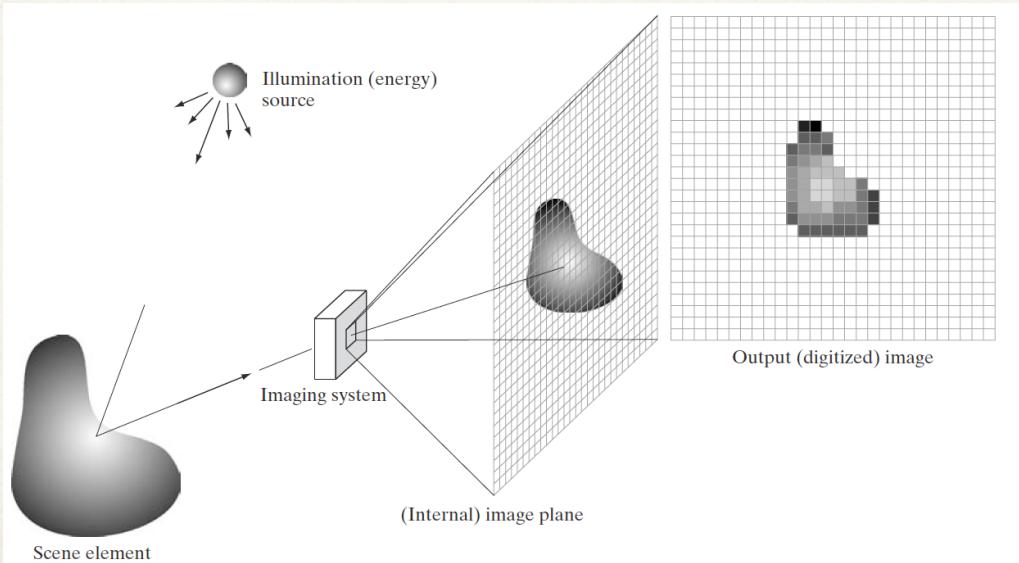
# Imagen Digital

- Modelo matemático simples:
  - A intensidade luminosa é função da
  - Intensidade das fontes de luz  $\Rightarrow i(x,y)$
  - Intensidade refletida pelos objetos  $\Rightarrow r(x,y)$

$$f(x,y) = i(x,y) * r(x,y)$$
$$0 < i(x,y) < \infty$$
$$0 < r(x,y) < 1$$

# Imagen Digital

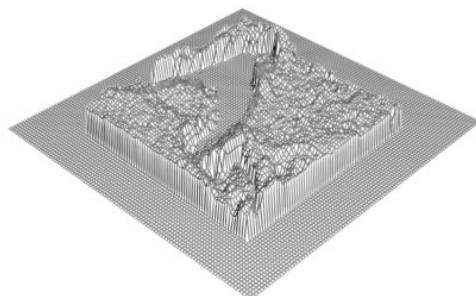
- Amostragem espacial da função  $f(x,y)$



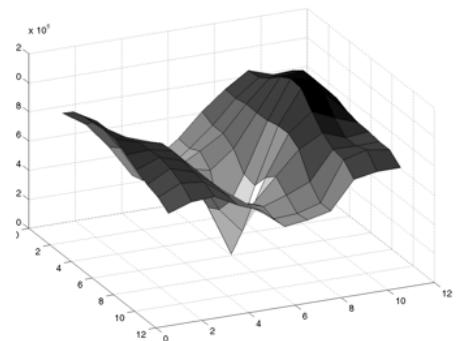
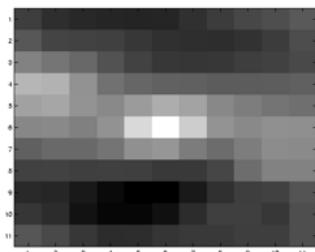
# Imagen Digital

- Modelo matemático simples:
  - função bidimensional  $f(x,y)$  que mapeia a intensidade luminosa registrada na imagem

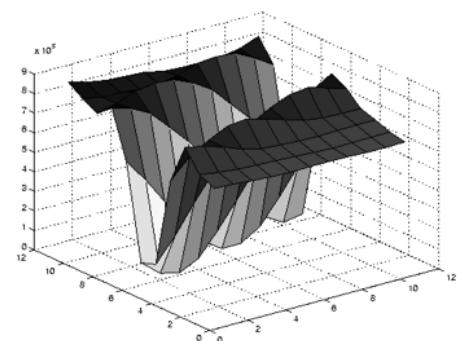
$$0 < f(x,y) < \infty$$



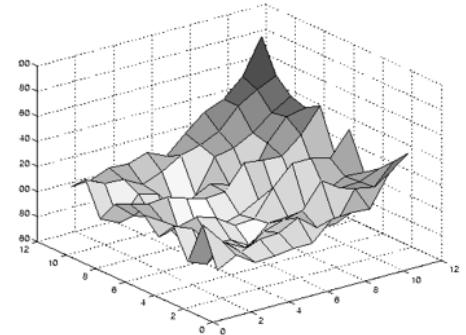
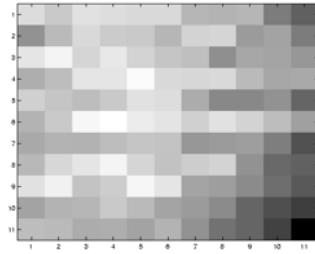
# Imagen Digital



# Imagen Digital

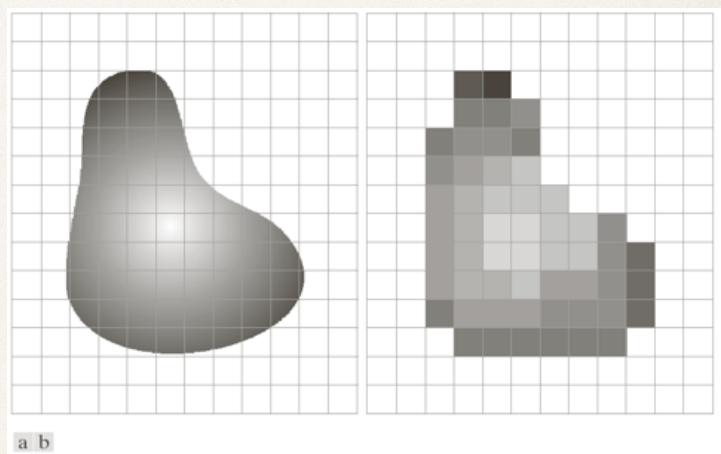


# Imagen Digital



## Amostragem

- ❖ Envolve 2 tipos de discretização
  - ❖ Espacial
    - ❖ pixels
  - ❖ Cores
    - ❖ espaço de cores

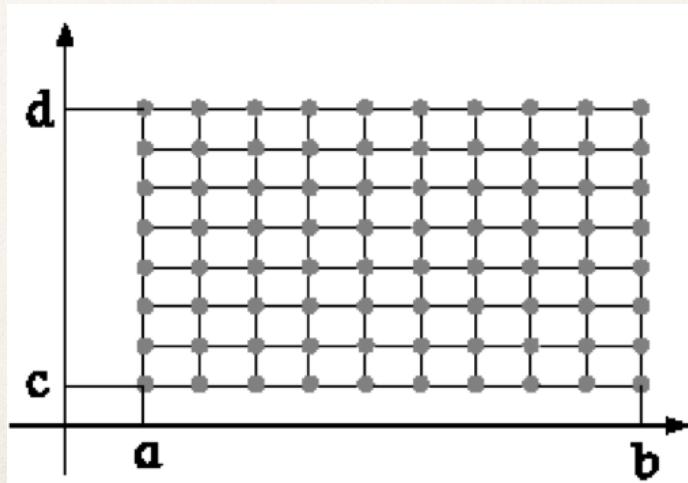


**FIGURE 2.17** (a) Continuous image projected onto a sensor array. (b) Result of image sampling and quantization.

# Imagen Digital

---

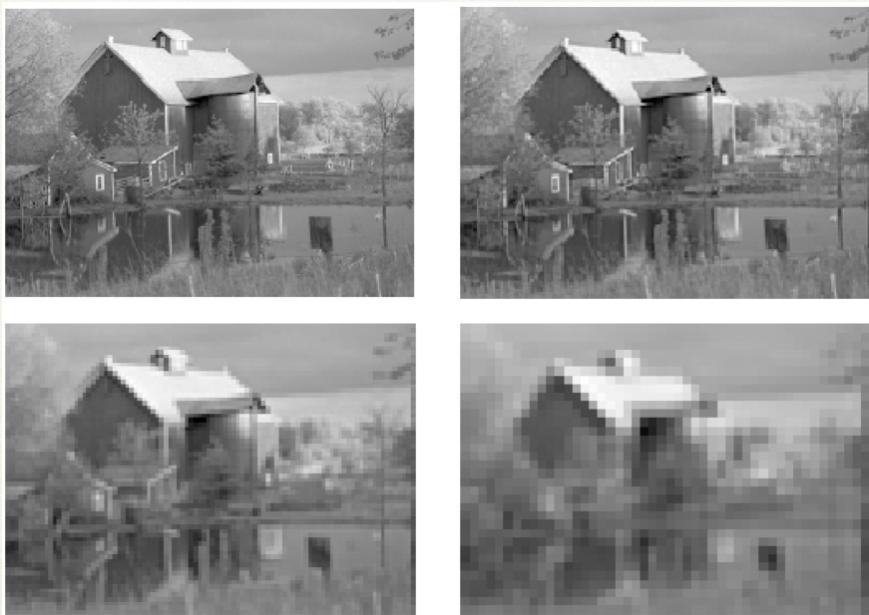
- Discretização Espacial
  - Representação matricial
    - identificação implícita dos *pixels*



# Imagen Digital

---

- Resolução Espacial



# Imagen Digital

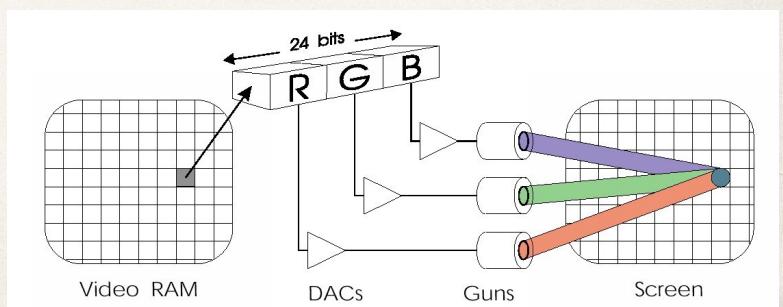
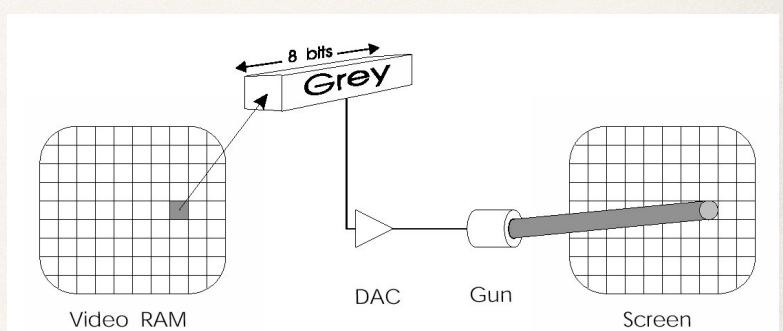
- Resolução de Cores
  - Profundidade do pixel
  - Quantização de cada amostra

Bits	Image
1	bitmap
8	gray scale
24	true color
32	true color + alpha



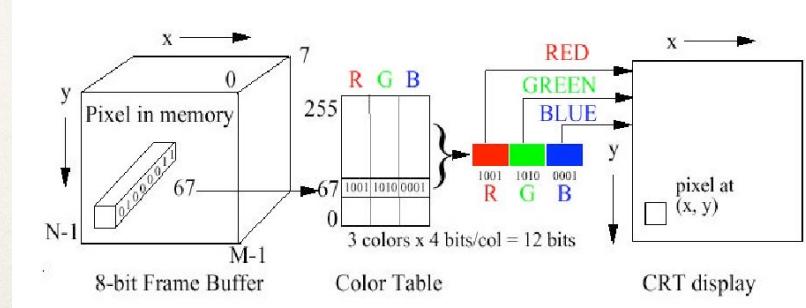
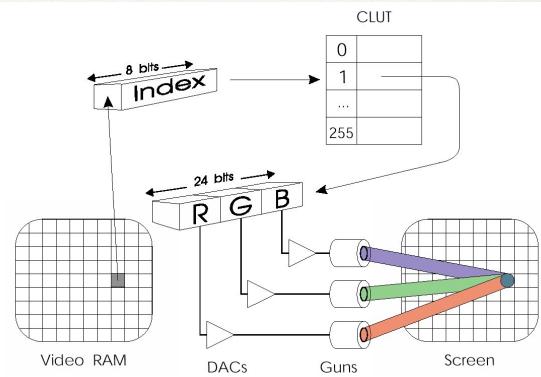
# Imagen Digital

- Representação das cores
  - Direta
    - Armazenamento igual a resolução de cores



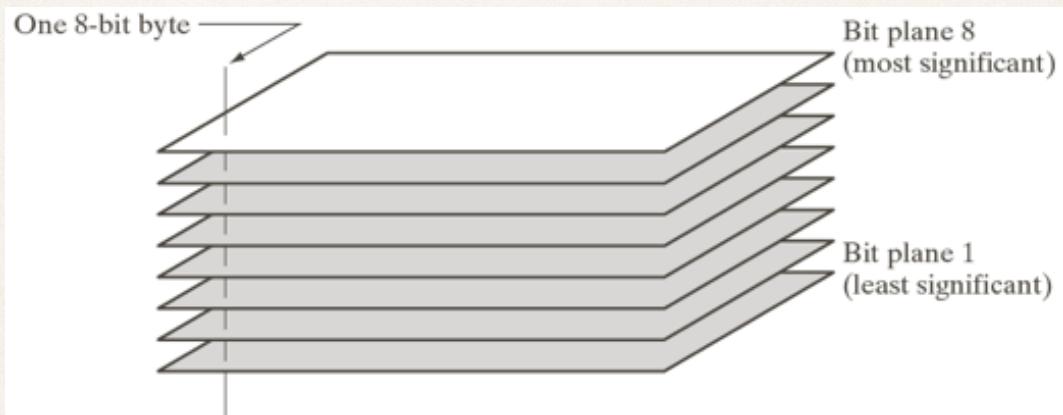
# Imagen Digital

- Representação das cores
  - Indireta
    - Uso de tabela de cores
    - Comum em alguns formatos de arquivos



## Planos de bits de uma imagem

- Cada conjunto de bits da imagem forma um plano



# Planos de bits de uma imagem

- Cada *bitplane* representa um tipo de informação da imagem



**FIGURE 3.14** (a) An 8-bit gray-scale image of size  $500 \times 1192$  pixels. (b) through (i) Bit planes 1 through 8, with bit plane 1 corresponding to the least significant bit. Each bit plane is a binary image.

# Planos de bits de uma imagem

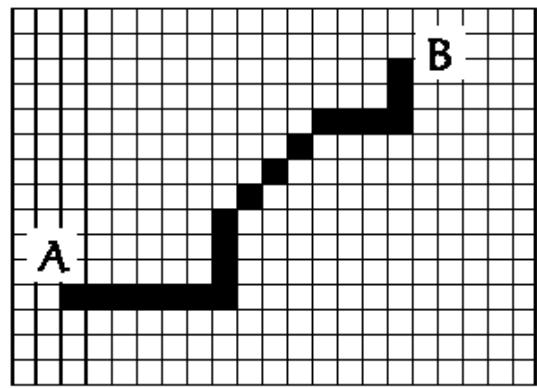
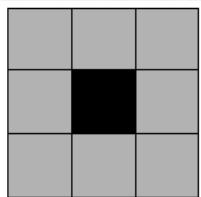
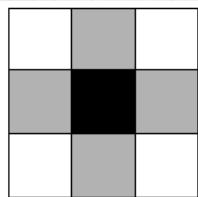
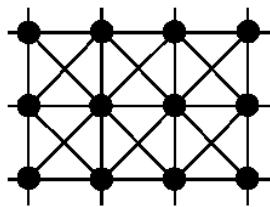
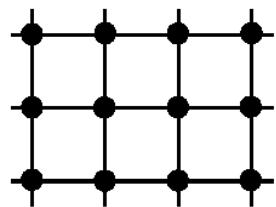
- Reduzir o número de planos
  - permite a reconstrução parcial da imagem



**FIGURE 3.15** Images reconstructed using (a) bit planes 8 and 7; (b) bit planes 8, 7, and 6; and (c) bit planes 8, 7, 6, and 5. Compare (c) with Fig. 3.14(a).

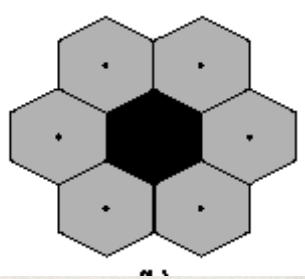
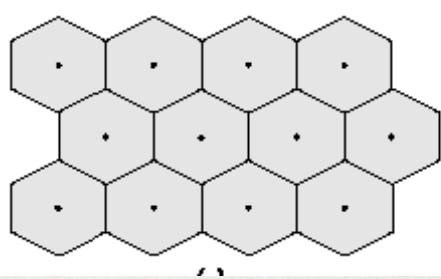
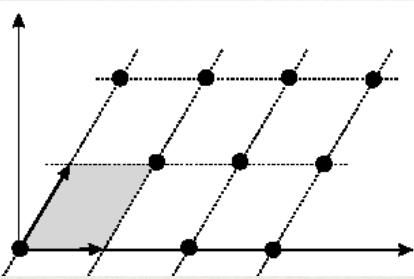
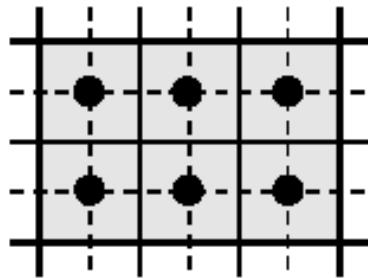
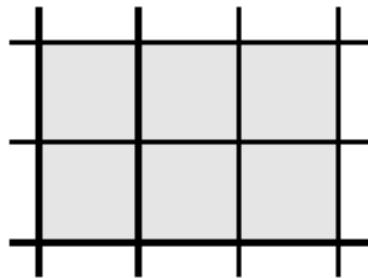
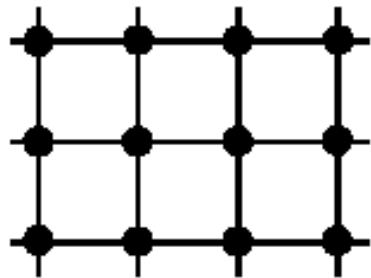
# Imagen Digital

- Topologia da imagem
  - Define a relação de vizinhança entre *pixels*
    - 4-conexa
    - 8-conexa



# Imagen Digital

- Geometria do pixel



# Histograma de uma Imagem Digital

---

## Histograma de uma Imagem

---

- Seja uma imagem com:
  - Resolução espacial de  $M \times N$  pixels
  - Tons de cinza entre  $[0, L-1]$
- Histograma é uma função discreta  $\mathbf{h}$ , tal que:

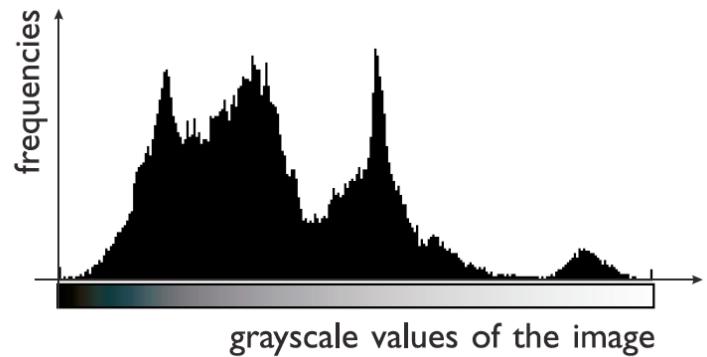
$$h(r_k) = n_k$$

- onde  $r_k$  é o k-ésimo valor de intensidade
- $n_k$  é o número de pixels da imagem com intensidade  $r_k$

# Histograma de uma Imagem

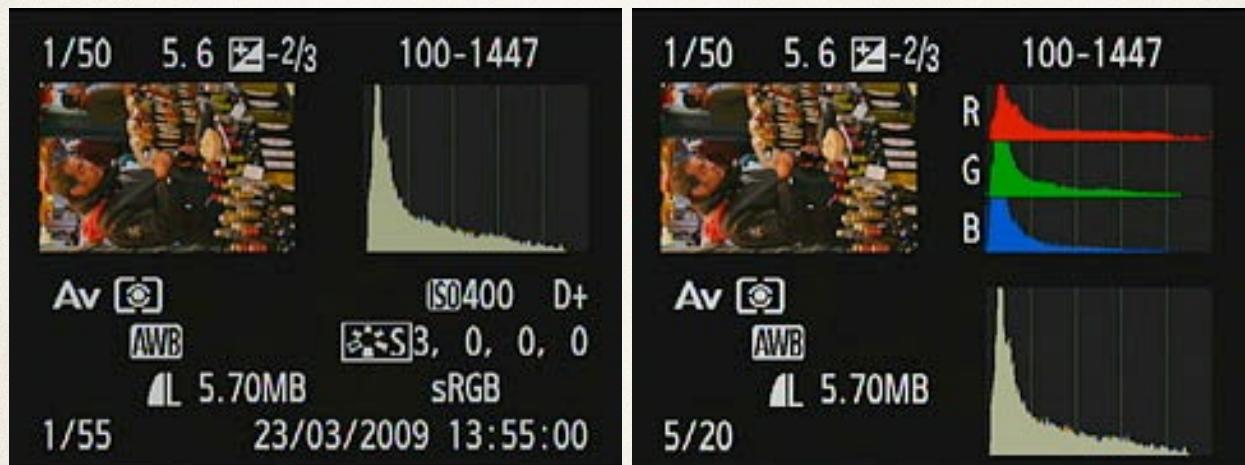
- O histograma ( $h$ ) é geralmente normalizado
  - Corresponde a probabilidade de ocorrência do valor  $r_k$  na imagem dado por:

$$p(r_k) = h(r_k) / M.N$$



# Histograma de uma Imagem

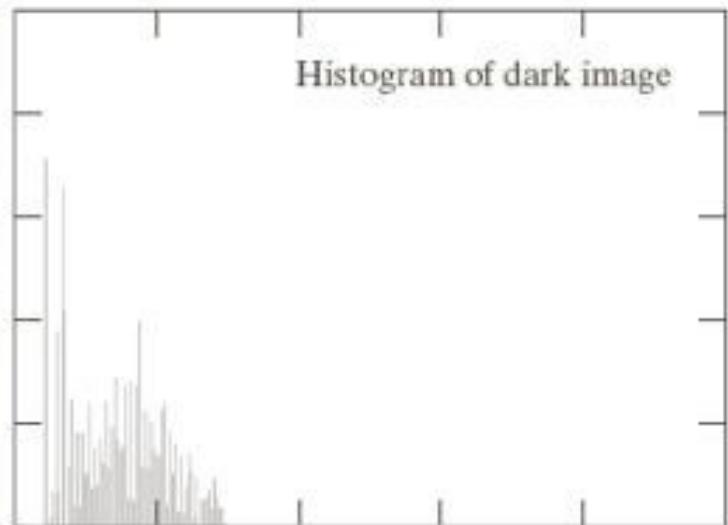
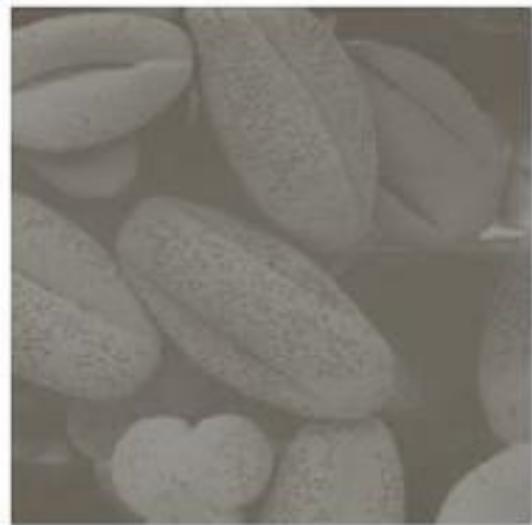
- Ferramenta comum para análise de imagens



# Histograma de uma Imagem

---

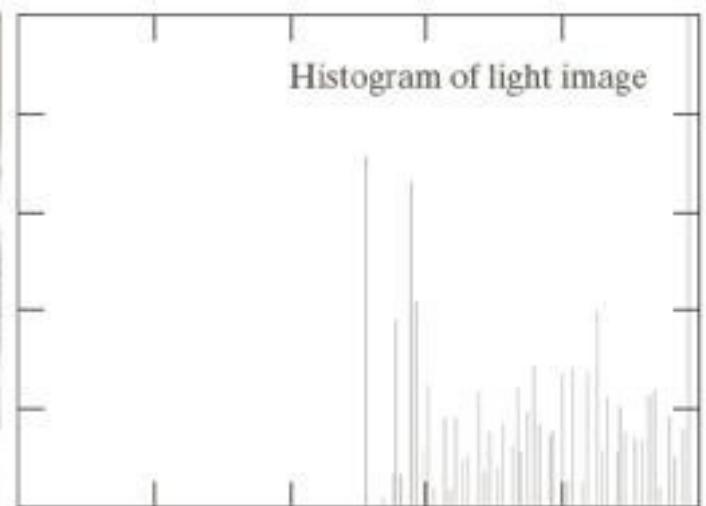
- Exemplos:



# Histograma de uma Imagem

---

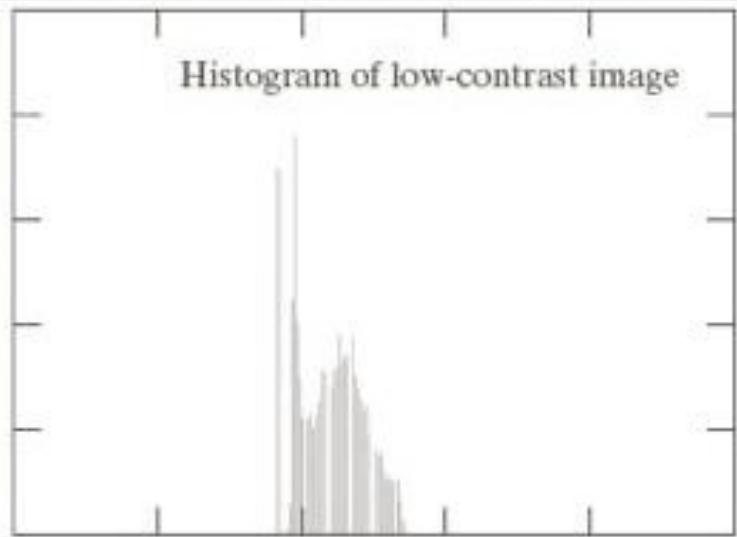
- Exemplos:



# Histograma de uma Imagem

---

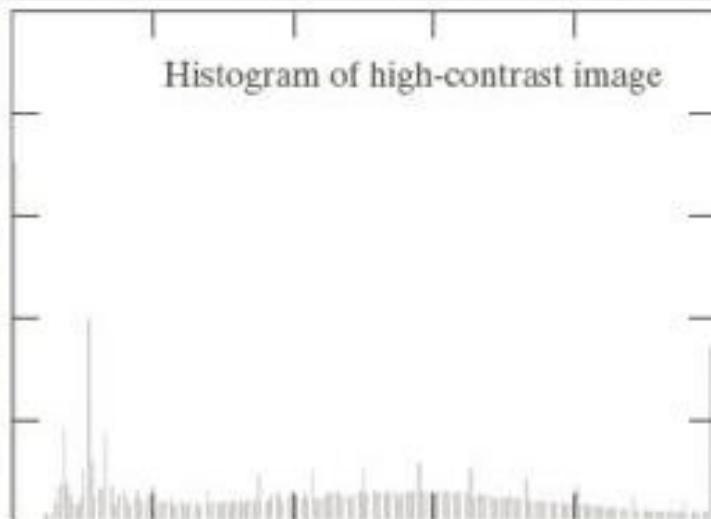
- Exemplos:



# Histograma de uma Imagem

---

- Exemplos:



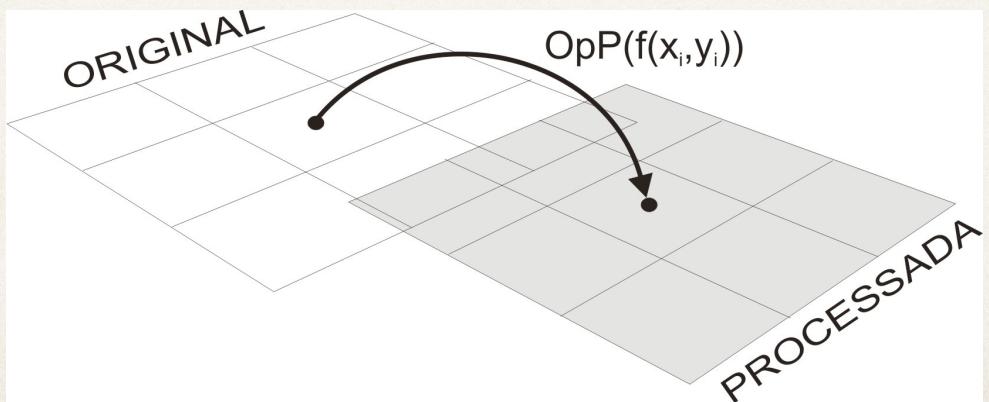
# Transformações de Intensidade

---

# Transformações de Intensidade

---

- Classe mais simples de transformações de imagens digitais
  - Modificam individualmente a intensidade dos *pixels*



# Transformações de Intensidade

- Funções de mapeamento da forma:

$$g(x, y) = T[f(x, y)]$$

onde

$f(x, y)$  é a imagem de entrada

$g(x, y)$  é a imagem de saída

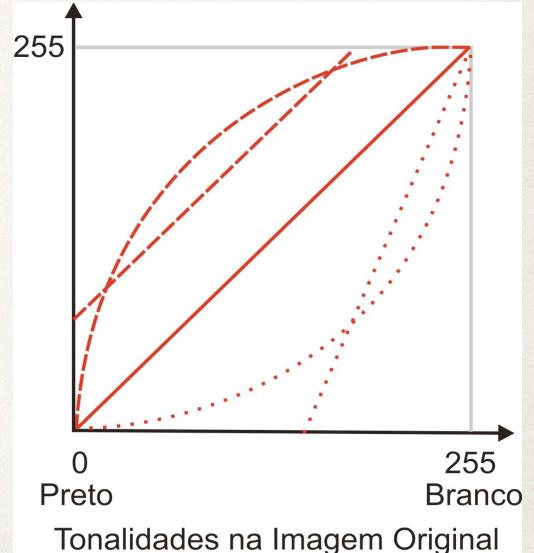
- De forma simples:

$$s = T[r]$$

onde

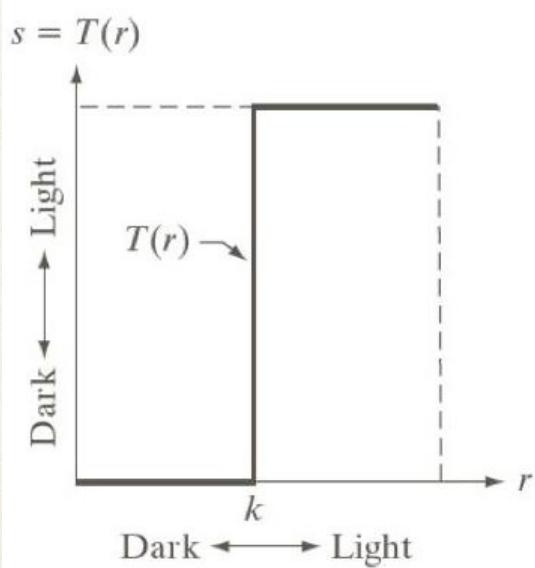
$$r = f(x, y)$$

$$s = g(x, y)$$



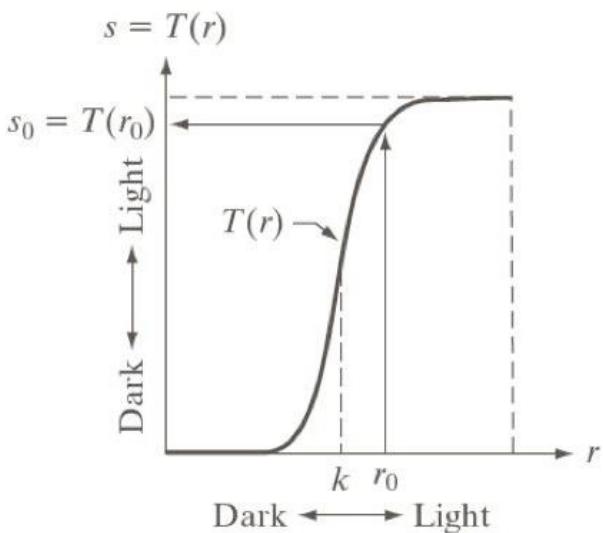
# Transformações de Intensidade

- Binarização



# Transformações de Intensidade

- Alargamento de contraste



## Imagen Negativa

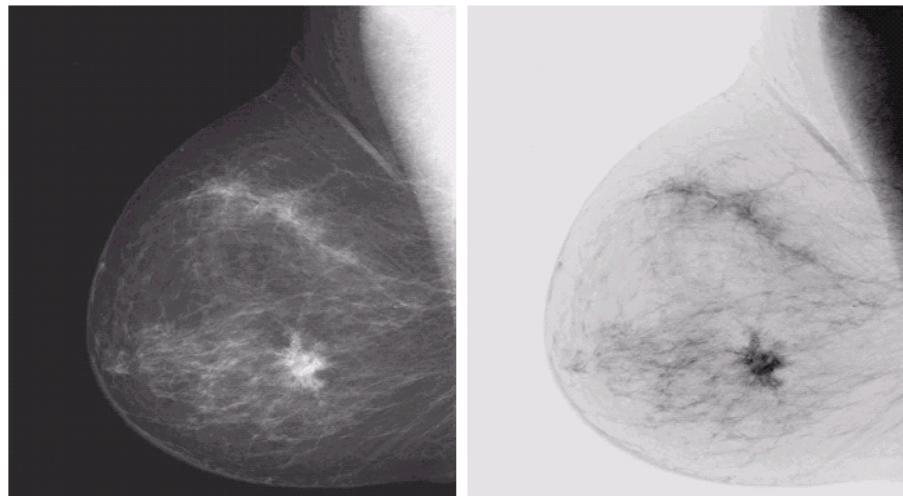
- Transformação “negativo”

$$s = L - 1 - r \quad \text{sendo} \quad r \in [0, L - 1]$$



# Imagen Negativa

- Uso: facilitar a interpretação de certos elementos na imagem
  - Exemplo:



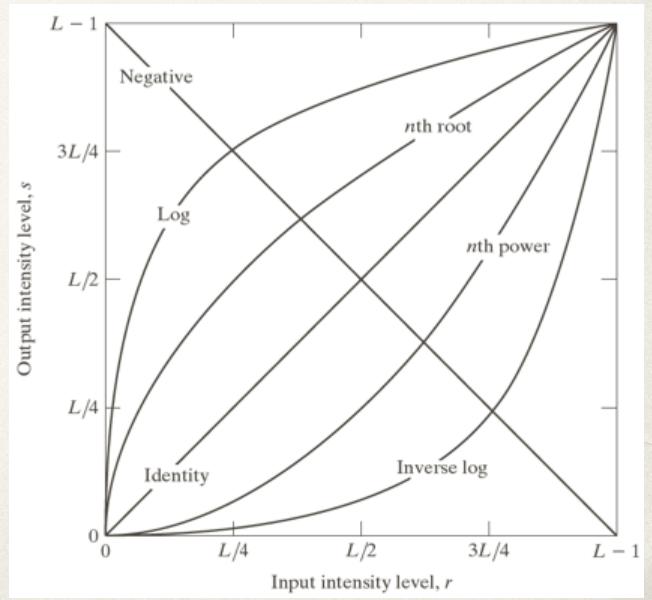
a b

**FIGURE 3.4**  
(a) Original digital mammogram.  
(b) Negative image obtained using the negative transformation in Eq. (3.2-1).  
(Courtesy of G.E. Medical Systems.)

# Transformações Logarítmicas

- Permitem a compressão ou expansão dos níveis de intensidade de uma imagem

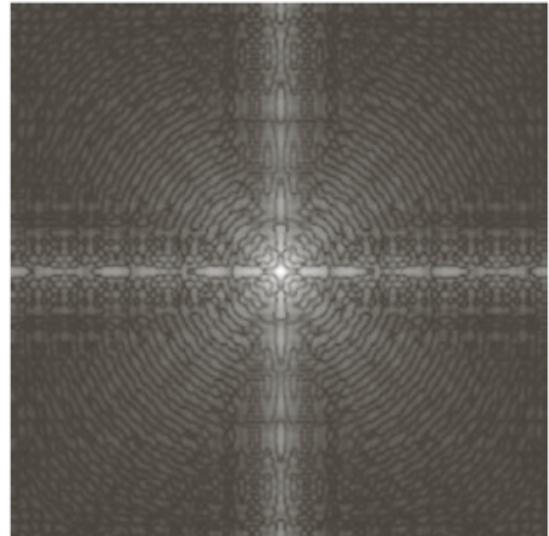
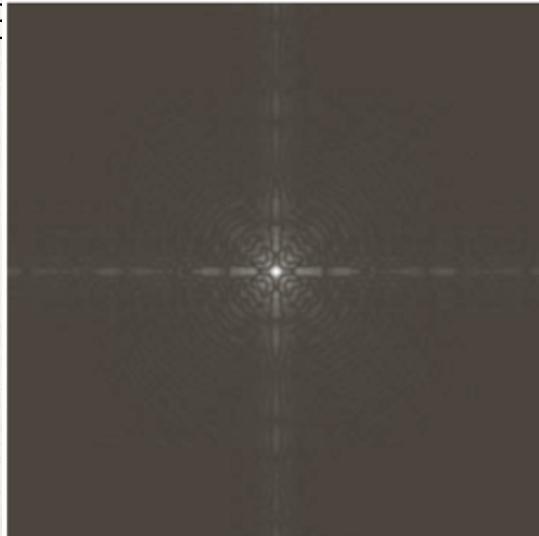
$$s = c \cdot \log(1 + r)$$



# Transformações Logarítmicas

- Amplitude do sinal é maior que a representação discreta utilizada

• E



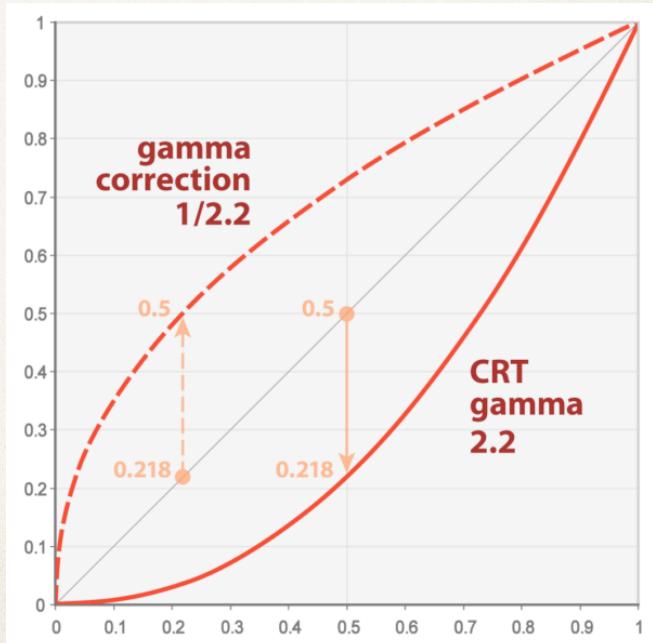
# Transformações de Potência

- Ou transformação gama

$$s = c J^\gamma$$

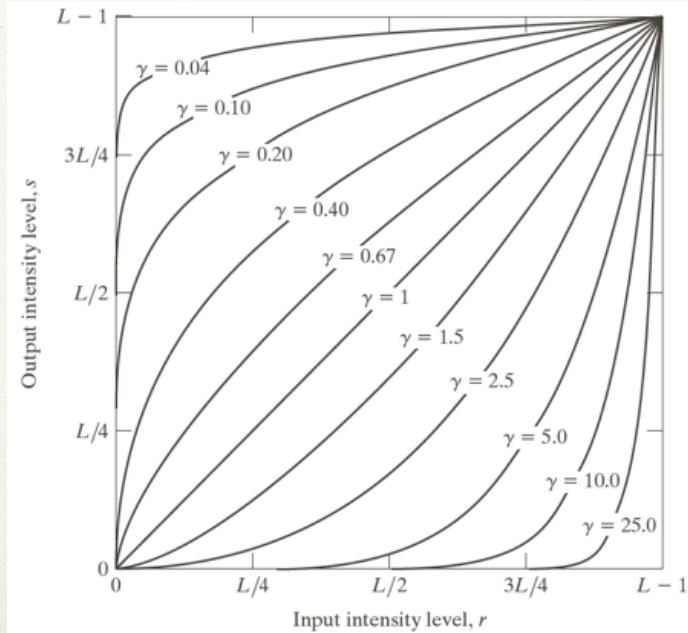
ou

$$s = (c + \varepsilon)^\gamma$$



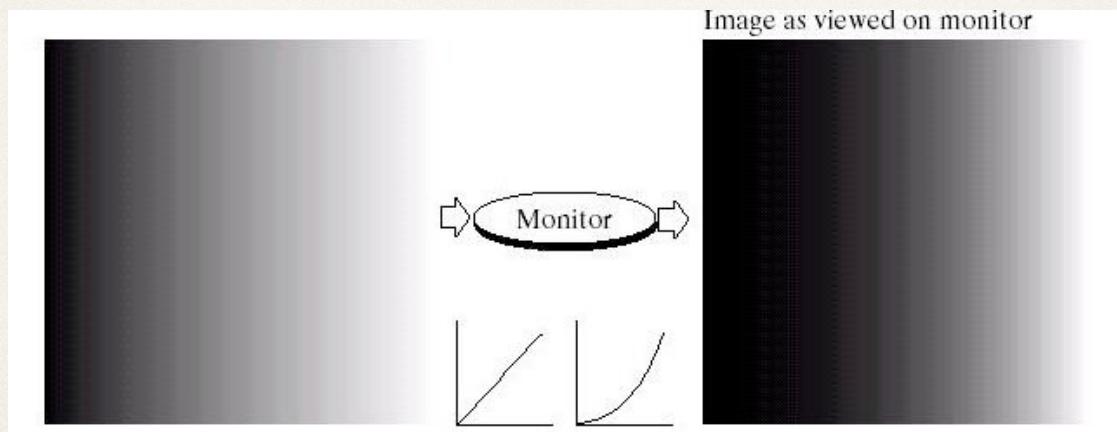
# Transformações de Potência

- Correção Gama

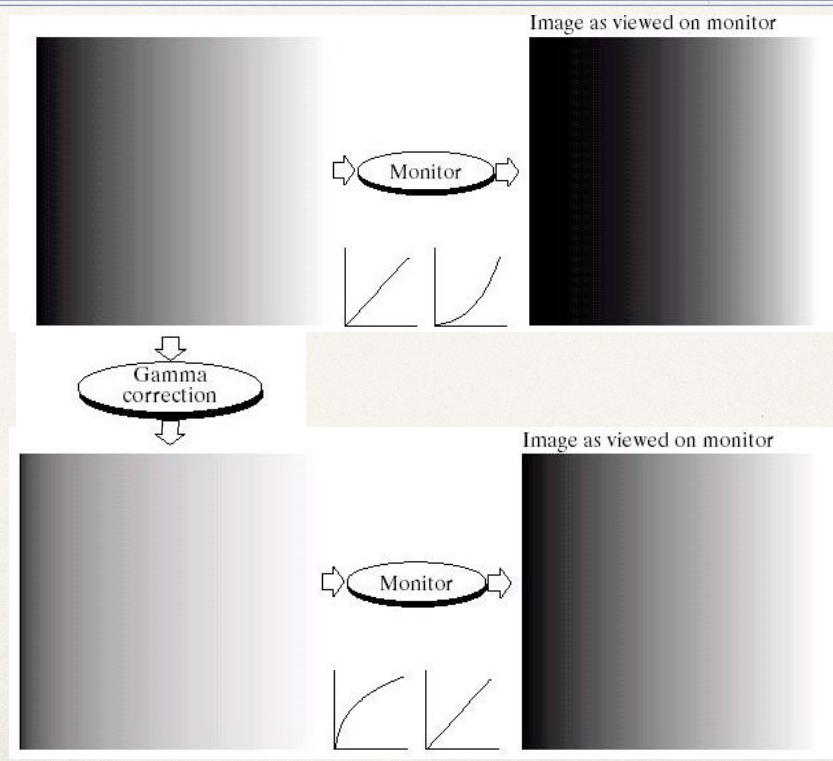


# Transformações de Potência

- Permite com corrigir a resposta de um dispositivo
  - Correção Gama



# Correção Gama



# Transformações de Potência

- Realce de contraste  $\Rightarrow \gamma=0,6$



# Transformações de Potência

---

- Realce de contraste  $\Rightarrow \gamma=0,4$



# Transformações de Potência

---

- Realce de contraste  $\Rightarrow \gamma=0,3$



# Transformações de Potência

---

- Realce de contraste  $\Rightarrow \gamma=3,0$



# Transformações de Potência

---

- Realce de contraste  $\Rightarrow \gamma=4,0$



# Transformações de Potência

---

- Realce de contraste  $\Rightarrow \gamma=5,0$



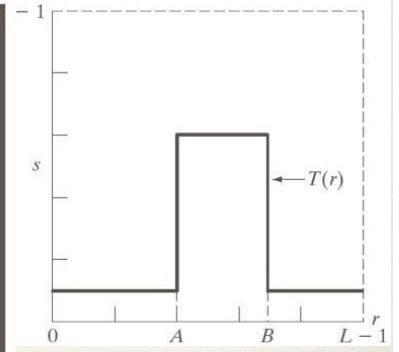
# Transformações Lineares Por Partes

---

- Ajustes mais complexos necessitam de funções de comportamento mais sofisticado
  - Custo de avaliação
  - Controle preciso do comportamento local
- Aproximação Linear por partes

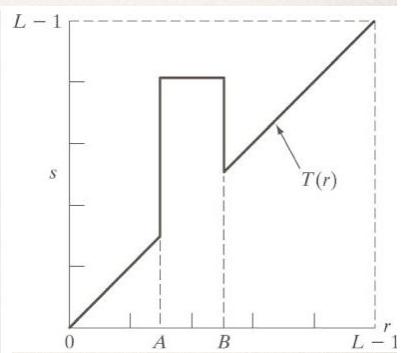
# Transformações Lineares Por Partes

- ❖ Exemplo:
  - ❖ Alargamento de contraste



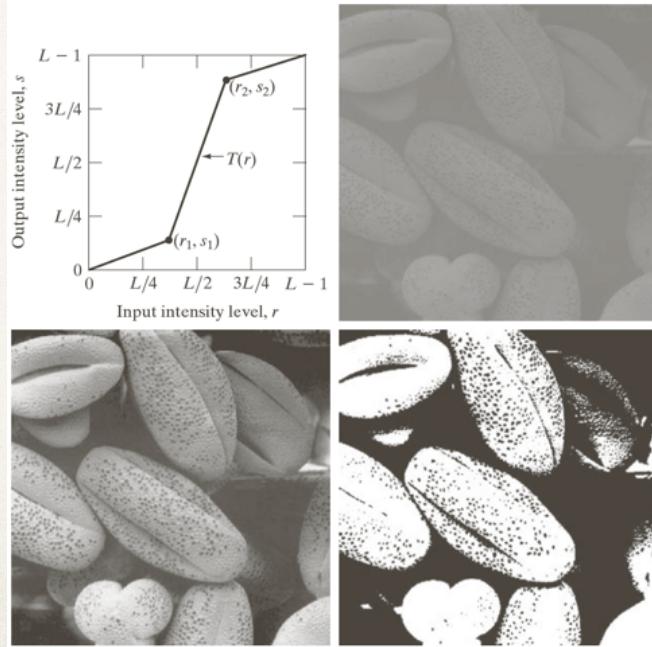
# Transformações Lineares Por Partes

- ❖ Exemplo:
  - ❖ Alargamento de contraste



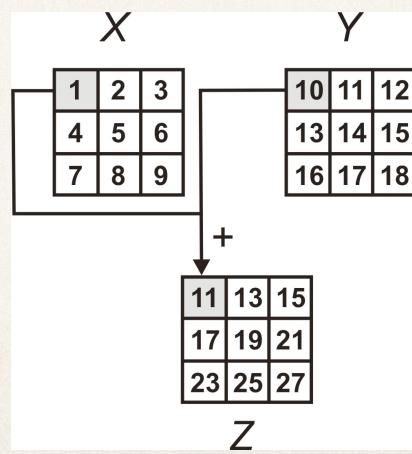
# Transformações Lineares Por Partes

- Alargamento de contraste



# Operações Aritméticas

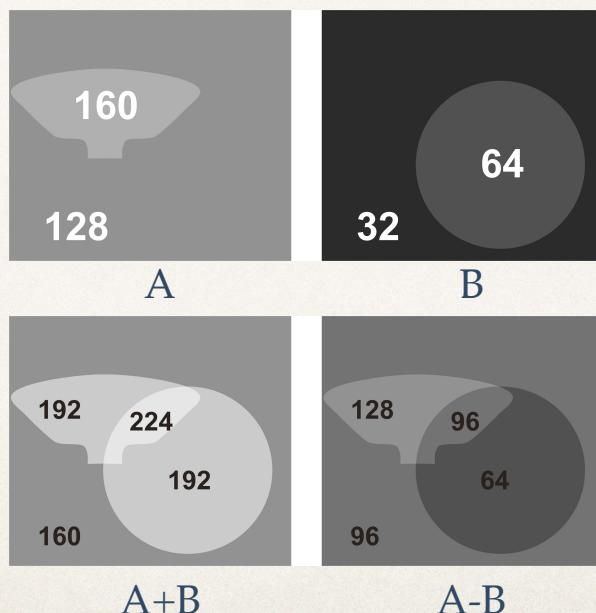
- Composição de duas imagens
  - Aplicação do operador pixel a pixel



# Operações Aritméticas

---

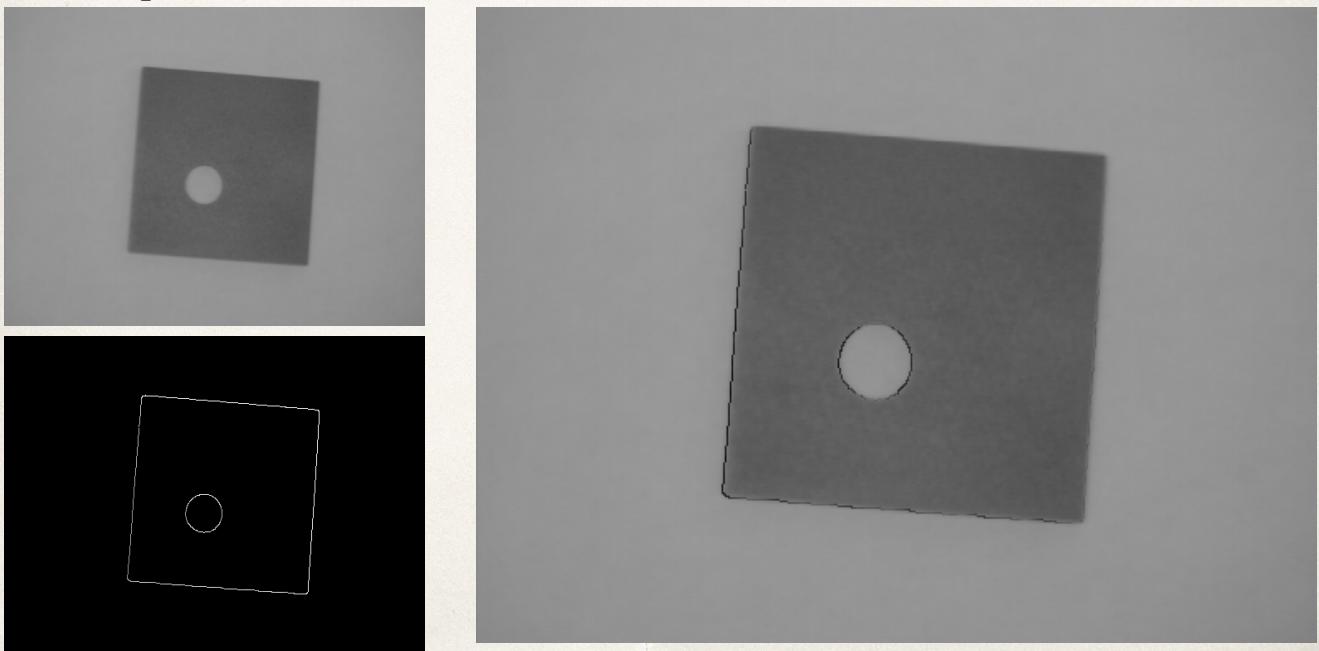
- Exemplos:



# Operações Aritméticas

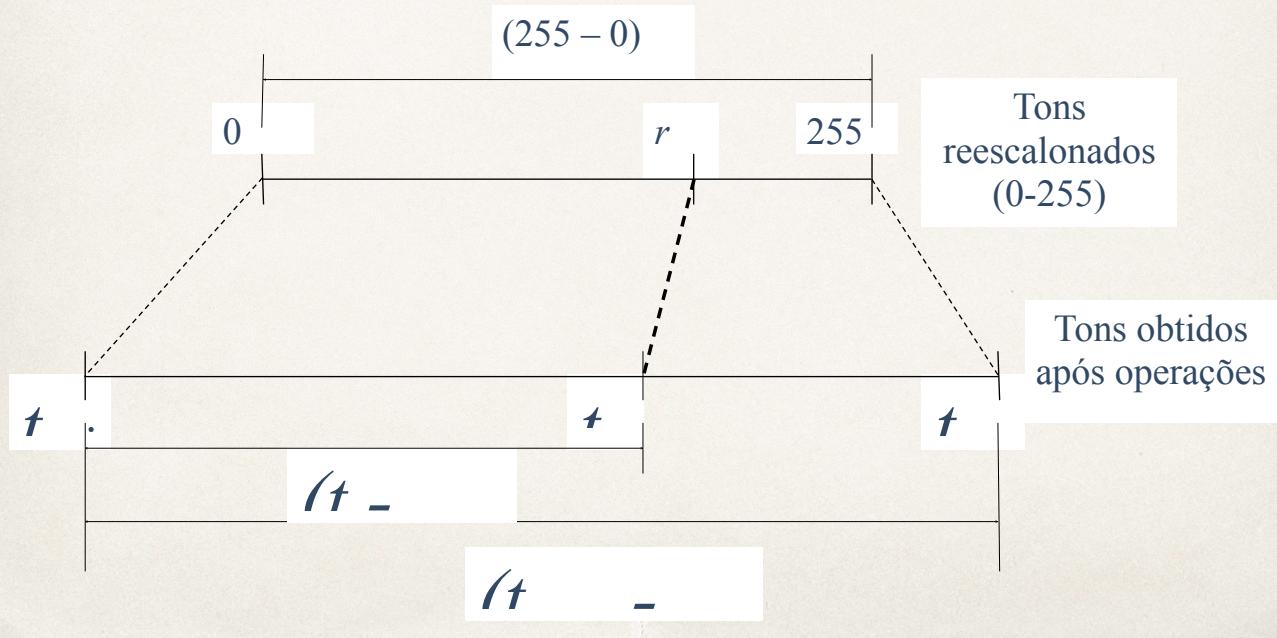
---

- Exemplos: A + B



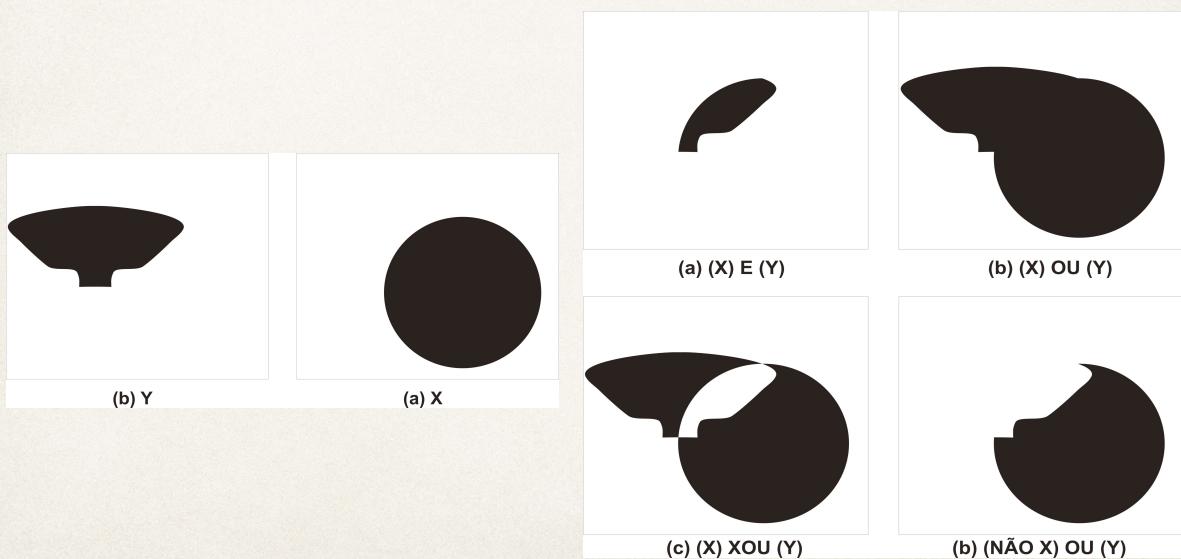
# Operações Aritméticas

- Necessidade de re-escalonamento:



# Operações Lógicas

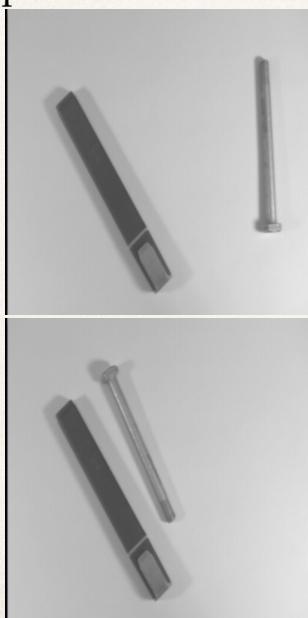
- Aplicação de operadores lógicos pixel a pixel



# Operações Lógicas

---

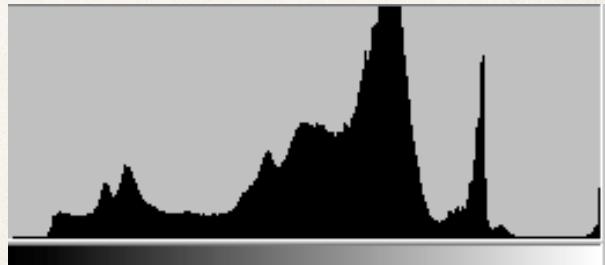
- Exemplos: A AND B



# Processamento de Histograma

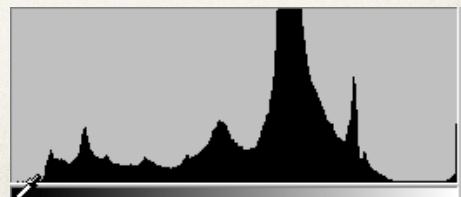
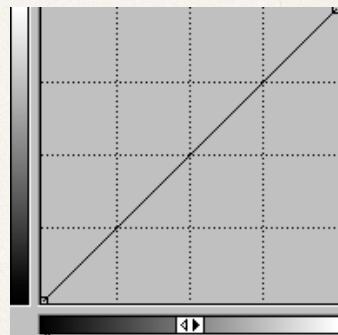
---

- Histograma:
  - Relaciona intensidade e sua ocorrência na imagem



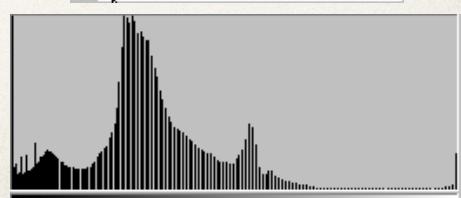
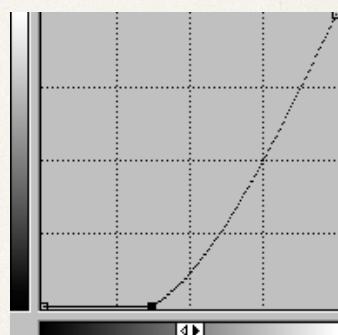
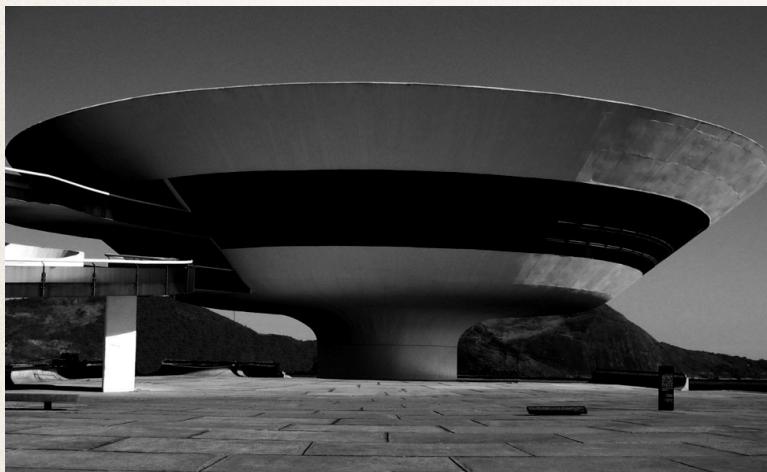
# Processamento de Histograma

- Operações sobre os *pixels* tem reflexo no histograma da imagem



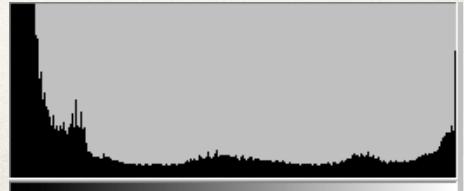
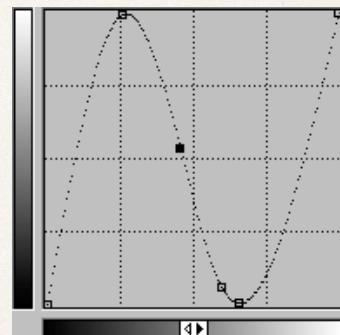
# Processamento de Histograma

- Operações sobre os *pixels* tem reflexo no histograma da imagem



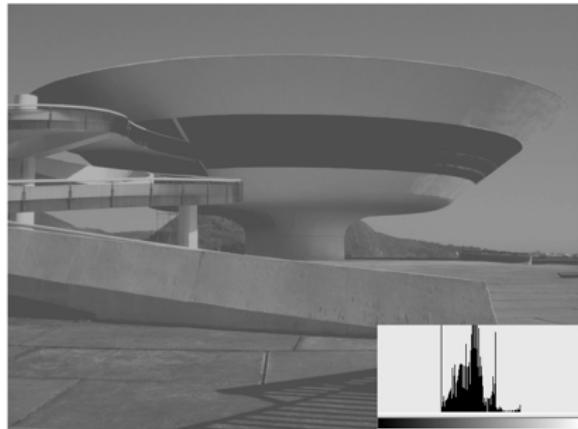
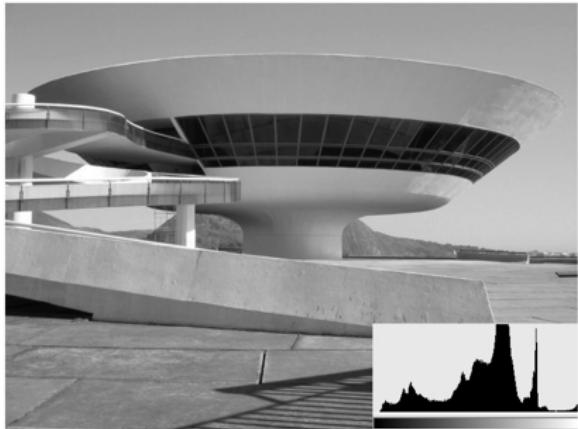
# Processamento de Histograma

- Operações sobre os *pixels* tem reflexo no histograma da imagem



# Processamento de Histograma

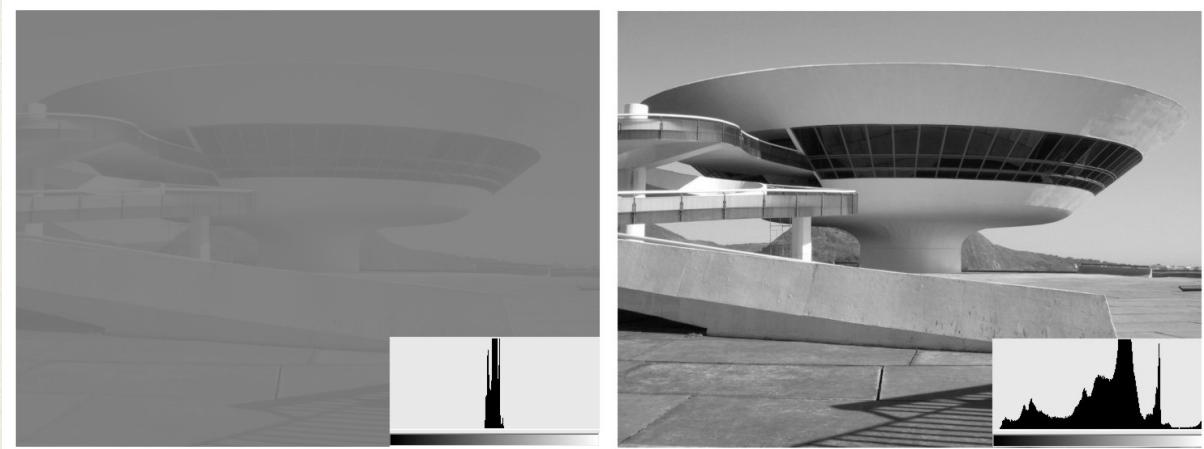
- Compressão do histograma



# Processamento de Histograma

---

- Expansão do histograma



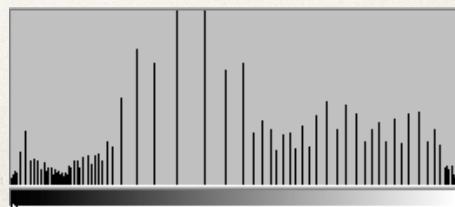
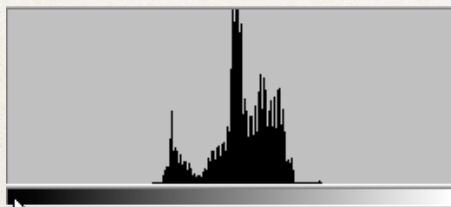
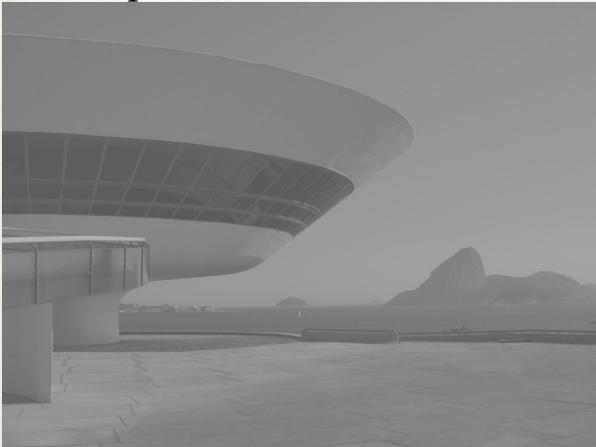
# Processamento de Histograma

---

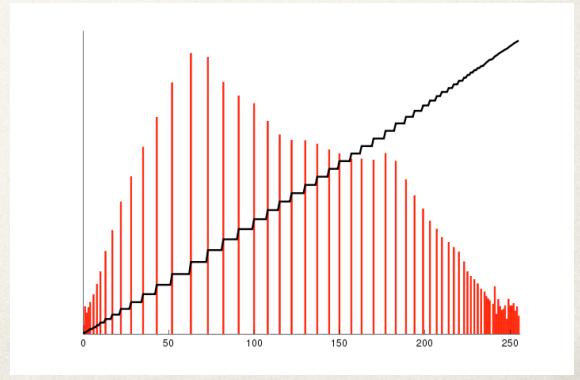
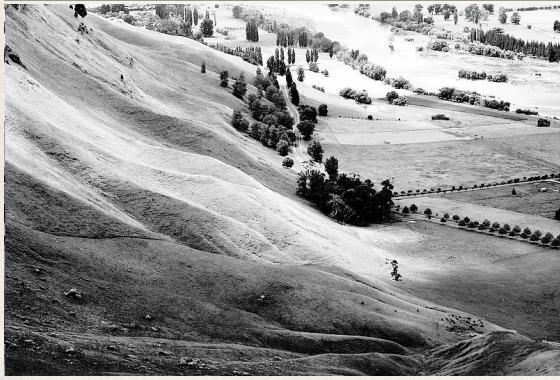
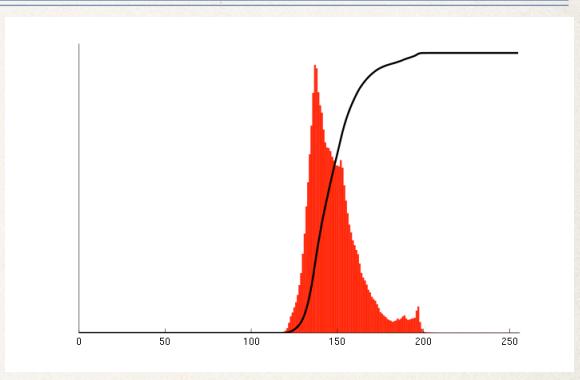
- Equalização do histograma
  - melhoria do contraste
  - Redistribuir os valores de nível de cinza em uma imagem de forma que todos os *pixels* tenham a mesma probabilidade de aparecer.

# Processamento de Histograma

- Exemplo

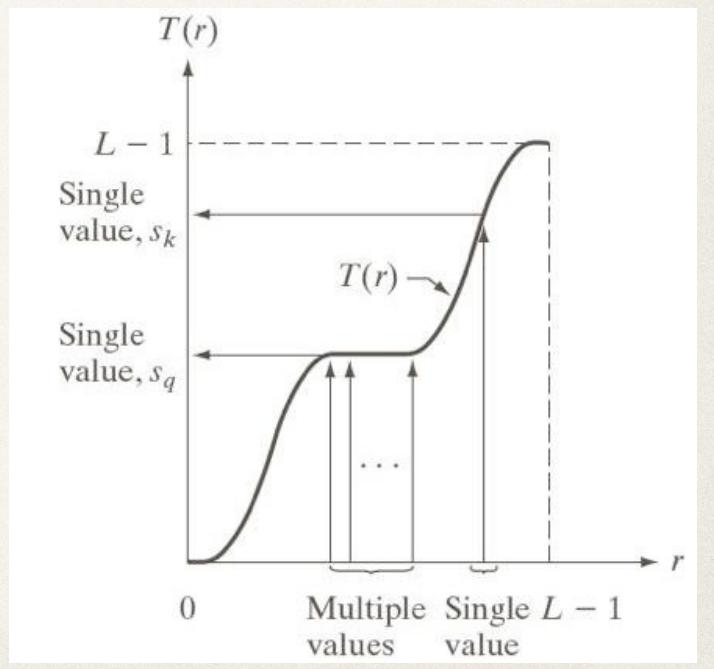


# Processamento de Histograma



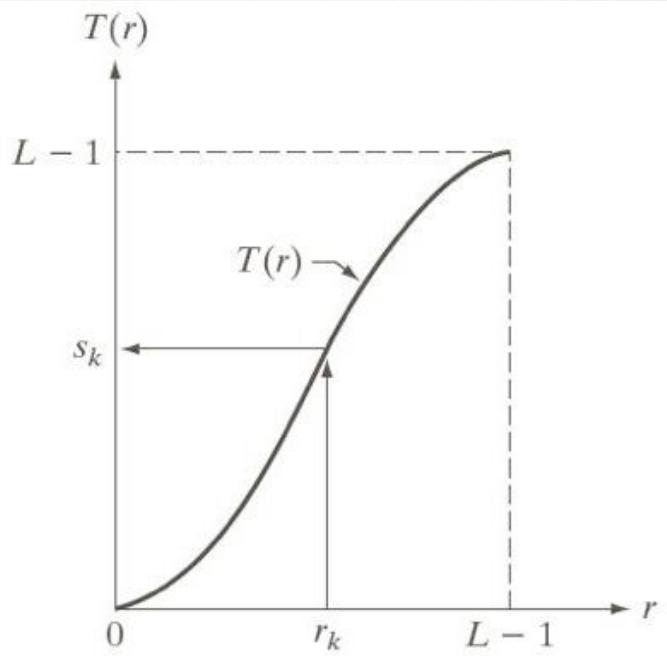
# Equalização de Histogramas

- Transformações de Intensidade:
  - $s = T(r)$  para  $r \in [0, L-1]$
  - $T(r)$  deve ser monotonamente crescente no intervalo  $[0, L-1]$
  - $s = T(r) \in [0, L-1]$ , para  $r \in [0, L-1]$



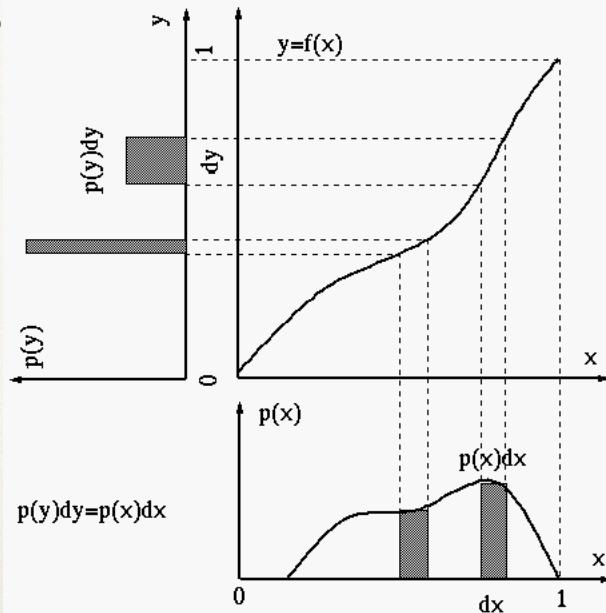
# Equalização de Histogramas

- Em algumas situações:
  - $r = T^{-1}(s)$  para  $s \in [0, L-1]$
  - $T(r)$  deve ser estritamente monotonamente crescente



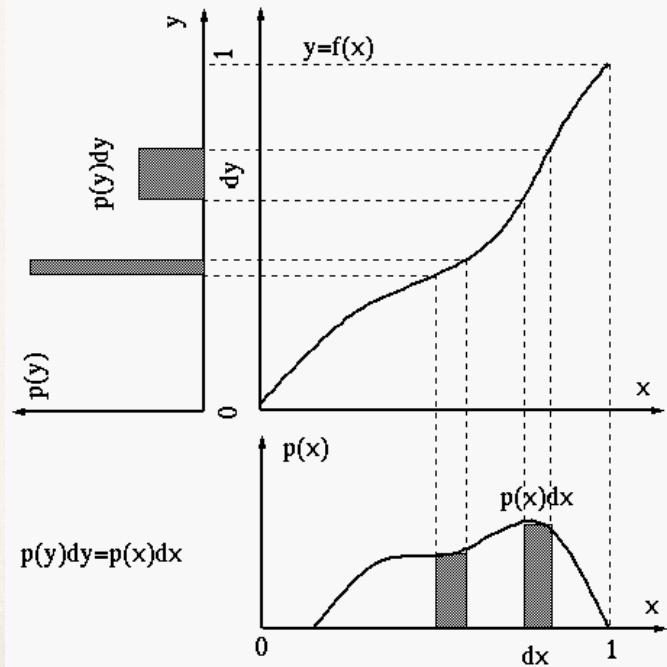
# Processamento de Histograma

- $T(r)$  deve mapear um histograma em outro normalizado



# Processamento de Histograma

- Como o número de *pixels* de  $x$  mapeados para  $y$  não se altera:  
$$p(y)dy = p(x)dx$$



# Processamento de Histograma

- \* Assumindo que  $0 \leq y \leq 1$

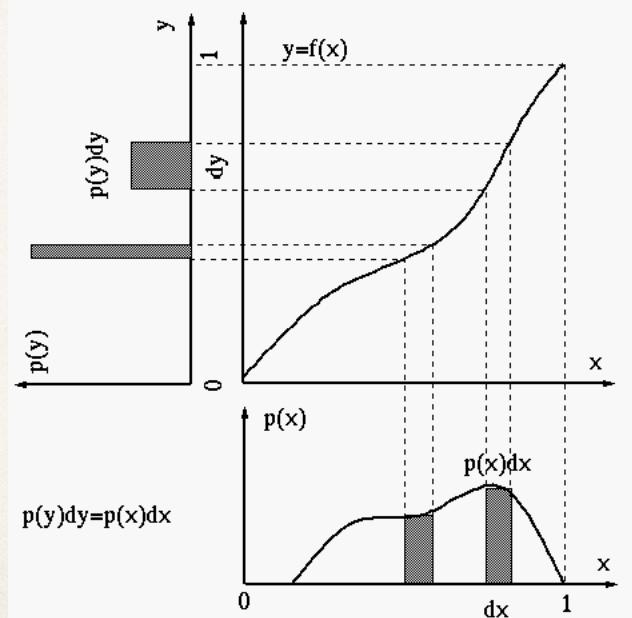
$$dy = p(x)dx$$

$$\frac{dy}{dx} = p(x)$$

$$y = f(x) = \int_0^x p(u)du = \\ = P(x) - P(0) = P(x) \quad \text{onde}$$

$$P(x) = \int_0^x p(u)du, \quad P(0) = 0$$

- \* onde  $P(x)$  é a função de distribuição acumulada



## Equalização de Histogramas

- \* De forma intuitiva:

- \* se  $p(x)$  é alto
  - \*  $f(x)$  tem uma inclinação alta
  - \*  $dy$  será mais “largo”
  - \*  $p(y)$  será baixo para manter (1)

$$p(y)dy = p(x)dx \quad (1)$$

- \* se  $p(x)$  é baixo
  - \*  $f(x)$  tem uma inclinação baixa
  - \*  $dy$  será mais “estreito”
  - \*  $p(y)$  será alto para manter (1)

# Equalização de Histogramas

---

- Na formulação discreta:

$$y' = f[x] \triangleq \sum_{i=0}^x h[i] = H[x]$$

onde

$$h[i] = \frac{n_i}{\sum_{i=0}^{L-1} n_i} = \frac{n_i}{N}$$

$$\sum_{i=0}^{L-1} h[i] = 1$$

# Equalização de Histogramas

---

- Uma ultima consideração:

- $y' \in [0,1]$
  - $y \in [0,L-1]$

- Conversão para tons de cinza:

$$y = \lfloor y'(L-1) + 0.5 \rfloor \quad (2)$$

ou

$$y = \left\lfloor \frac{y' - y'_{\min}}{1 - y'_{\min}} (L-1) + 0.5 \right\rfloor \quad (3)$$

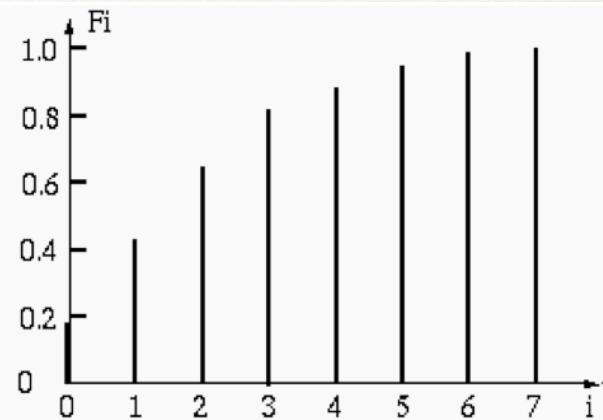
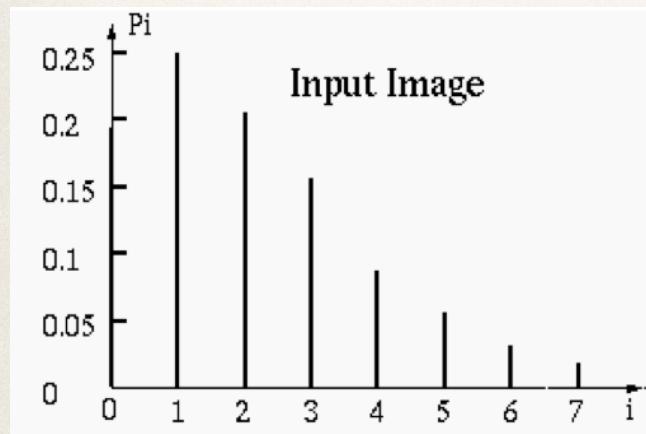
# Equalização de Histogramas

- Exemplo:
  - Imagen 64x64=4096 pixels, com 8 tons de cinza (3 bits/pixel)

$x_i$	$n_i$	$h[i] = n_i/N$	$y' = H[i]$
0/7	790	0,19	0,19
1/7	1023	0,25	0,44
2/7	850	0,21	0,65
3/7	656	0,16	0,81
4/7	329	0,08	0,89
5/7	245	0,06	0,95
6/7	122	0,03	0,98
7/7	81	0,02	1

# Equalização de Histogramas

- Histograma original:



# Equalização de Histogramas

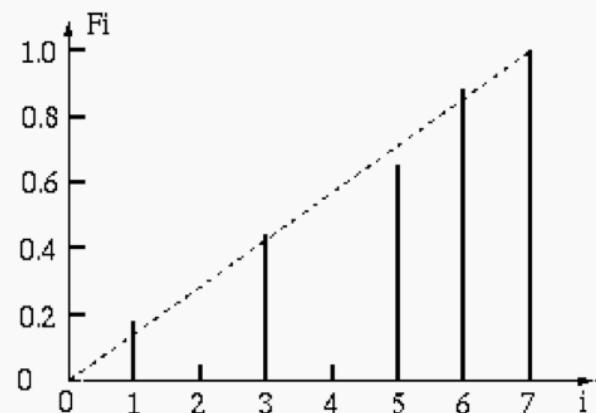
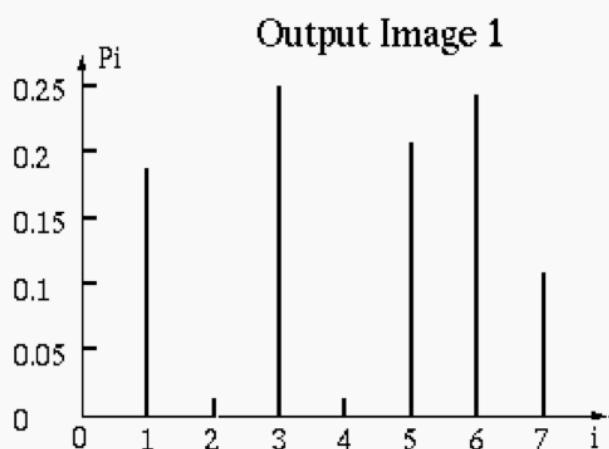
- Exemplo:
  - Aplicando a conversão

$$y = \lfloor y'(L-1) + 0.5 \rfloor$$

$x_i$	$n_i$	$h[i] = n_i/N$	$y' = H[i]$	$y_j$	$h[j]$	$H[j]$
0/7	790	0,19	0,19	1/7	0,19	0,19
1/7	1023	0,25	0,44	3/7	0,25	0,44
2/7	850	0,21	0,65	5/7	0,21	0,65
3/7	656	0,16	0,81	6/7		
4/7	329	0,08	0,89	6/7	0,24	0,89
5/7	245	0,06	0,95	7/7		
6/7	122	0,03	0,98	7/7		
7/7	81	0,02	1	7/7	0,11	1

# Equalização de Histogramas

- Histograma equalizado



# Equalização de Histogramas

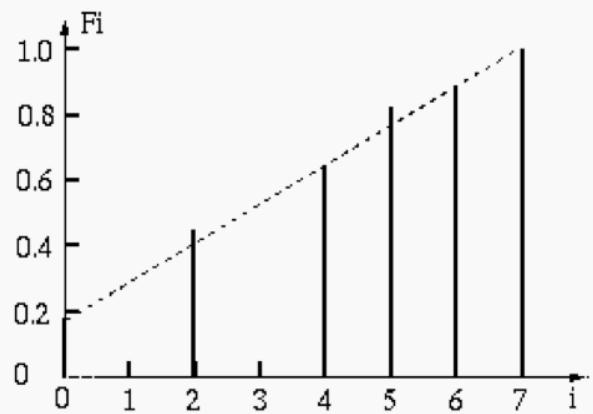
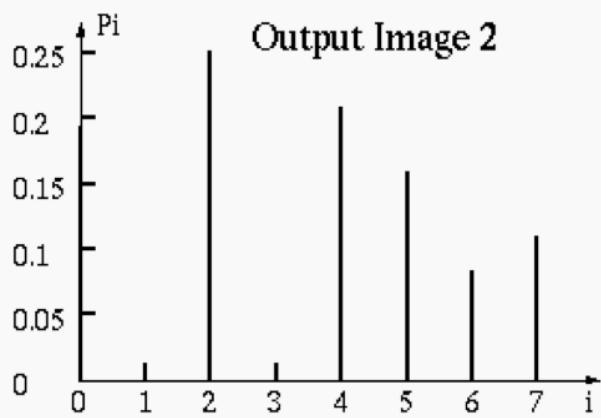
- Exemplo:
  - Aplicando a conversão

$$y' = \left\lfloor \frac{y - y_{\min}}{1 - y_{\min}} (L - 1) + 0.5 \right\rfloor$$

$x_i$	$n_i$	$h[i] = n_i/N$	$y' = H[i]$	$y_j$	$h[j]$	$H[j]$
0/7	790	0,19	0,19	0/7	0,19	0,19
1/7	1023	0,25	0,44	2/7	0,25	0,44
2/7	850	0,21	0,65	4/7	0,21	0,65
3/7	656	0,16	0,81	5/7	0,16	0,81
4/7	329	0,08	0,89	6/7	0,08	0,89
5/7	245	0,06	0,95	7/7		
6/7	122	0,03	0,98	7/7		
7/7	81	0,02	1	7/7	0,11	1

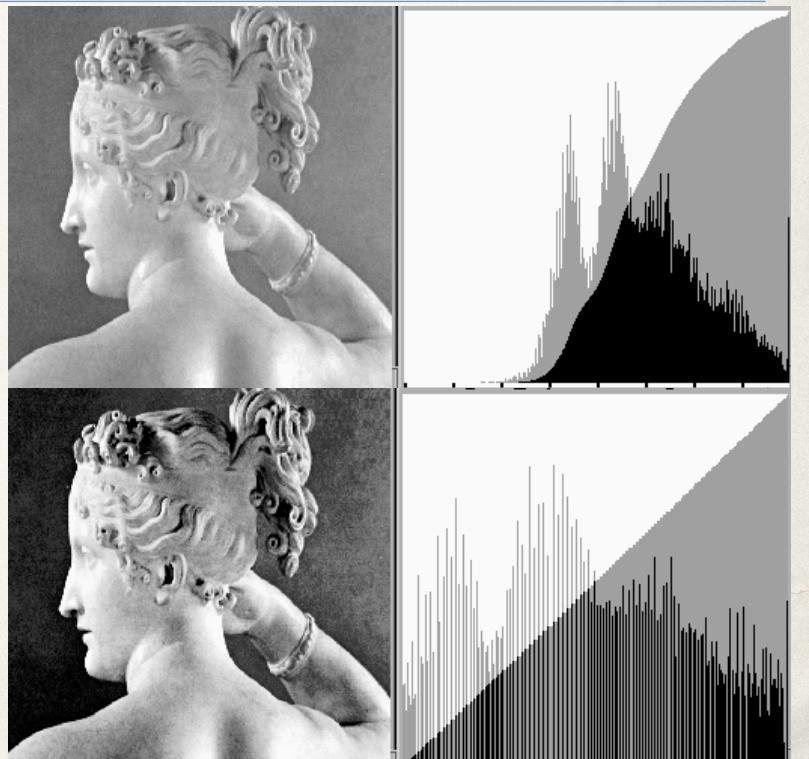
# Equalização de Histogramas

- Histograma equalizado



# Equalização de Histogramas

- Exemplo:



# Equalização de Histogramas

- Algoritmo de Equalização:
  - Passo 1: Calculo do Histograma

```
d=1.0/M/N;  
for (i=0; i < 256; i++) hist[i] = 0;  
for (i=0; i < M; i++)  
    for (j=0; j < N; j++)  
        hist[x[i][j]]+=d;
```

# Equalização de Histogramas

---

- Algoritmo de Equalização:
  - Passo 2: Calculo da função distribuição acumulada:

```
sum=0.0;  
for (i=0; i < 256; i++)  
    sum+=hist[i];  
lookup[i]=sum*255+0.5;
```

# Equalização de Histogramas

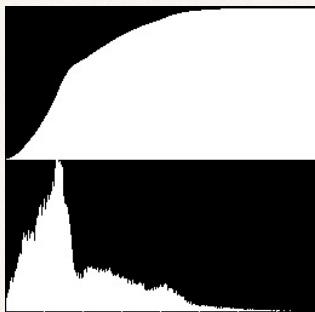
---

- Algoritmo de Equalização:
  - Passo 3: Calculo da imagem equalizada

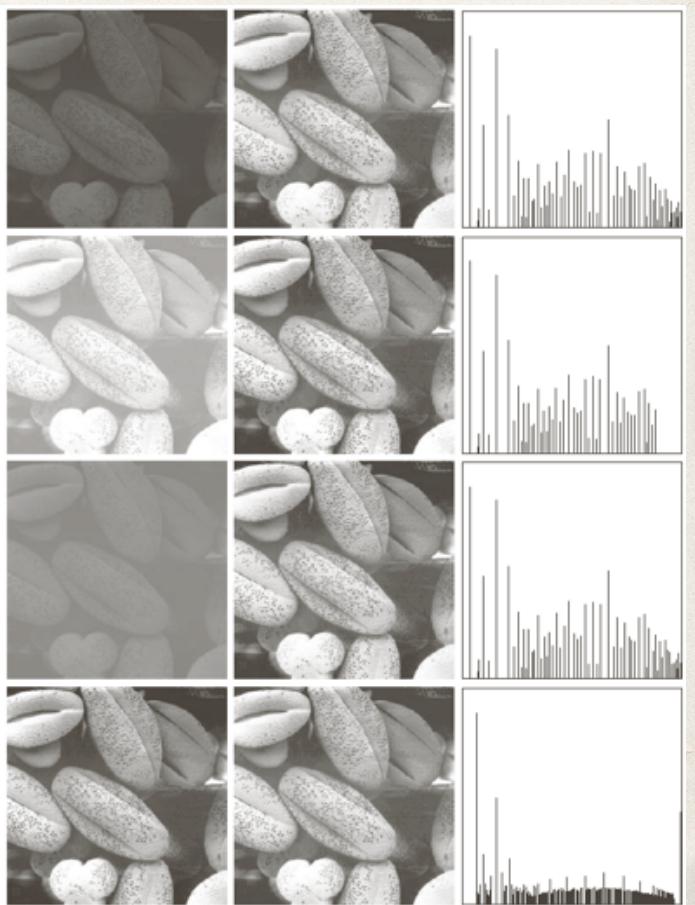
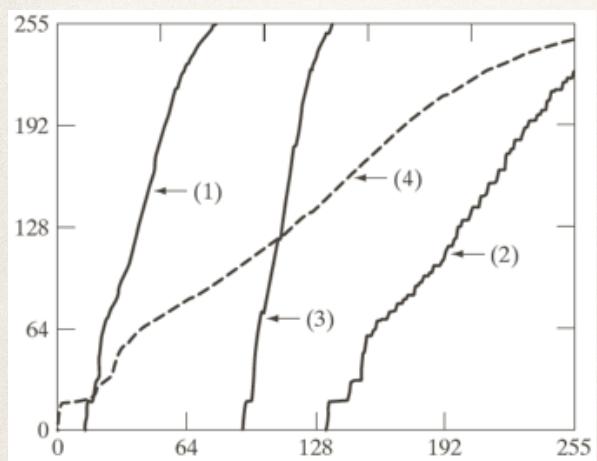
```
for (i=0; i < M; i++)  
    for (j=0; j < N; j++)  
        y[i][j]=lookup[x[i][j]];
```

# Equalização de Histogramas

- Mais exemplos:

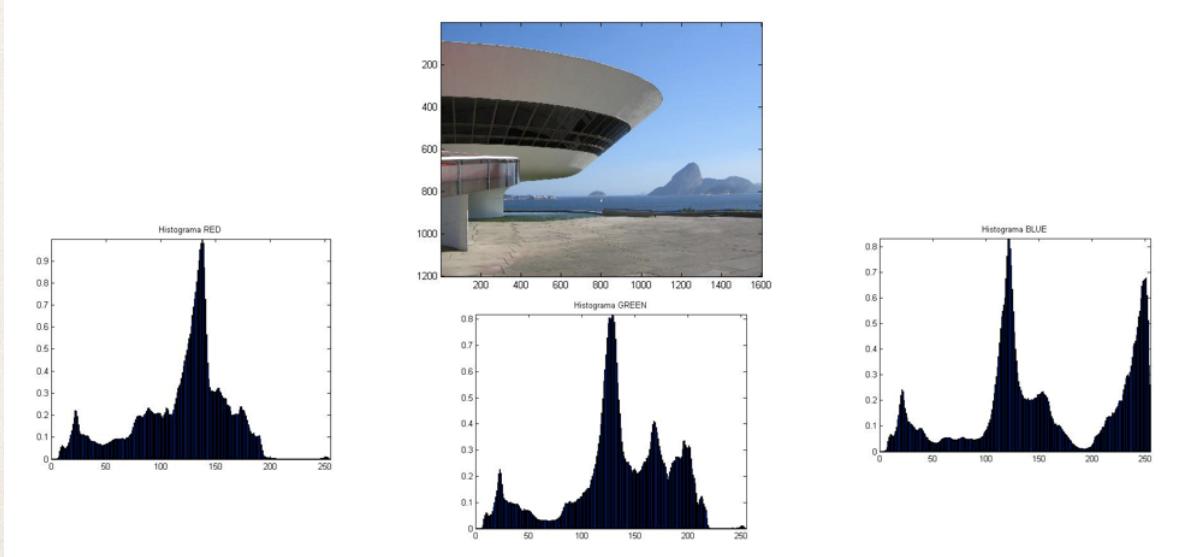


# Equalização de Histogramas



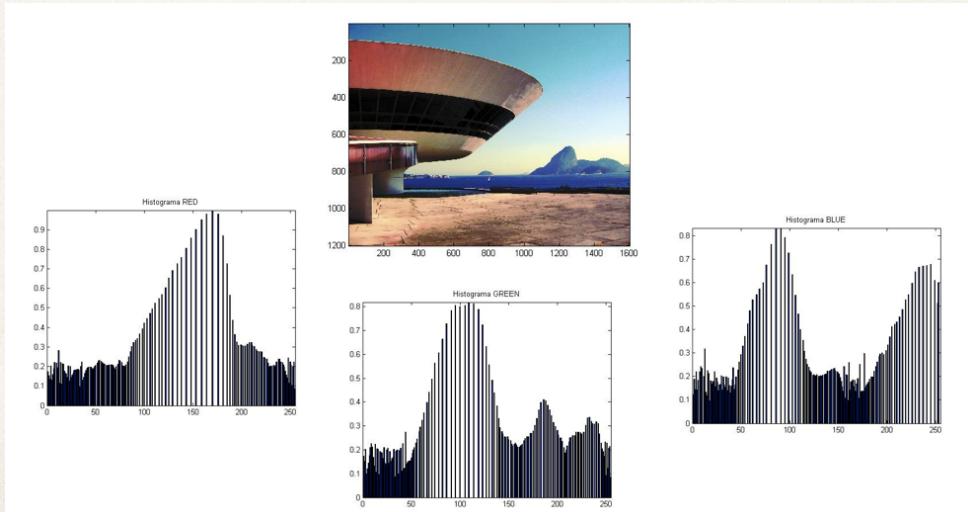
# Equalização de Histogramas

- ❖ Imagens coloridas
  - ❖ Histogramas separados por canal



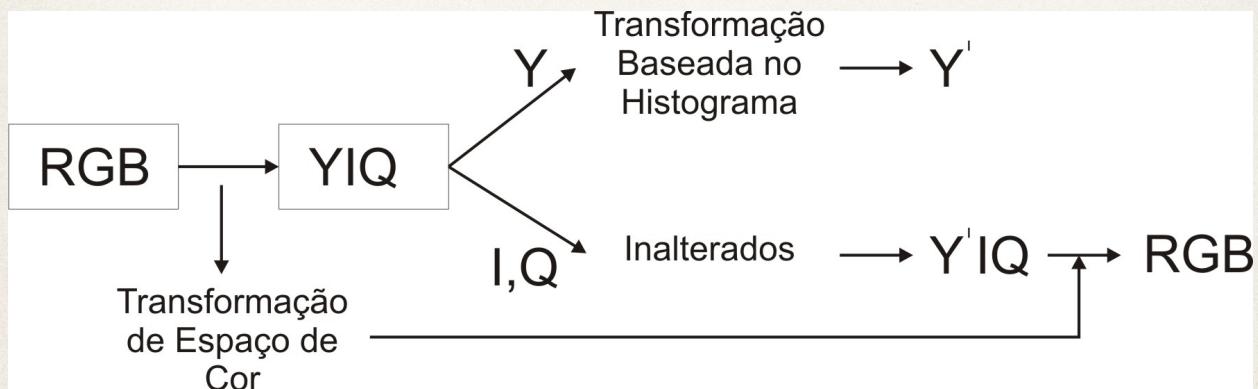
# Equalização de Histogramas

- ❖ Imagens coloridas
  - ❖ Equalizar cada canal separadamente não produz bons resultados



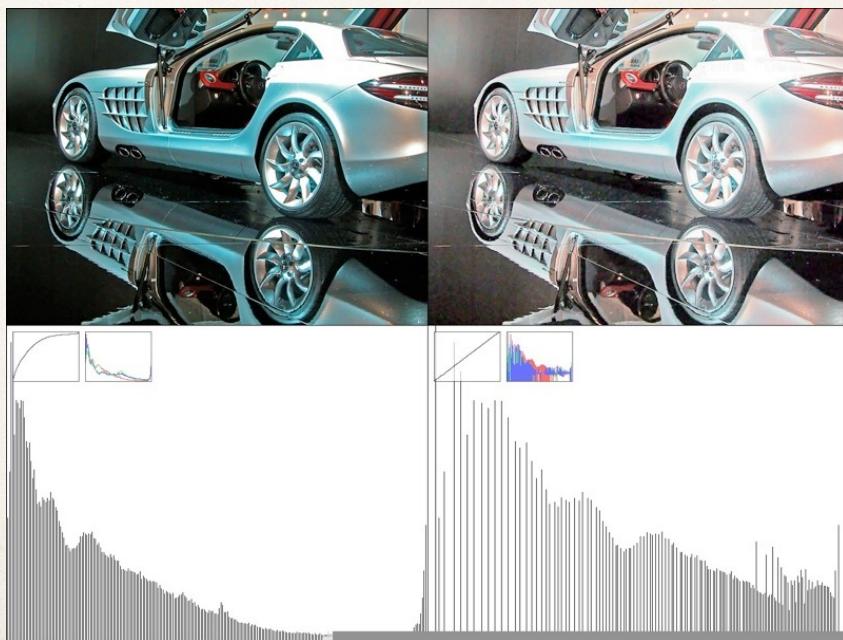
# Equalização de Histogramas

- Imagens coloridas
  - Solução: conversão de sistema de cores



# Equalização de Histogramas

- Imagens coloridas



# Processamento de Imagem em WebGL

---

## Processamento de Imagens em WebGL

---

- ❖ Imagem é mapeada em uma forma geométrica (quadrado) na forma de uma textura
  - ❖ Quadrado do mesmo tamanho do canvas
  - ❖ Cada fragmento corresponde a um fragmento
  - ❖ Fragment Shaders processam os fragmentos/pixels da imagem
- ❖ Exemplos de código

# Processamento de Imagens em WebGL

---

- Exemplos de Código:
  - <http://homes.dcc.ufba.br/~apolinario/Disciplinas/2014-2/MATA65/Labs/>

A seguir...  
Filtragem Espacial

---