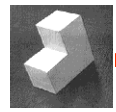
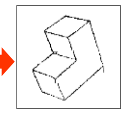
Processos

- *Processamento de Imagens*



Processamento de Imagens



IMAGEM

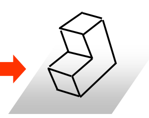
IMAGEM

Processos

- *Computação Gráfica*

bloco
poliédrico
8 faces
pos. observador
pos. iluminação
fundo
etc

Computação Gráfica

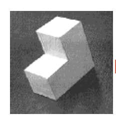


DESCRIÇÃO FORMAL

IMAGEM (sintética)

Processos

- *Visão Computacional*



Visão Computacional

bloco
poliédrico
8 faces
pos. observador
pos. iluminação
fundo
etc

IMAGEM

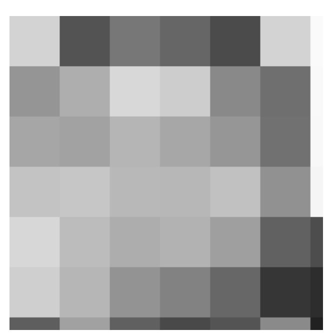
DESCRIÇÃO FORMAL

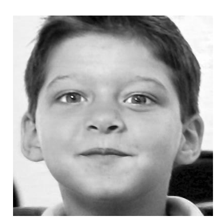
Níveis de Intensidades

Original

1 bit / pixel

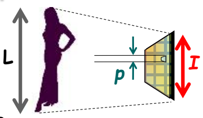
Resolução Espacial





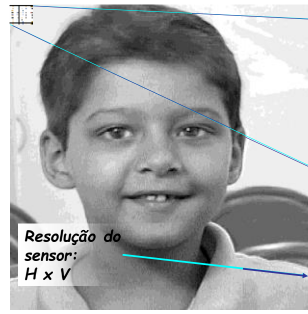
1 :64

Resolução espacial



- Exercício
  - Sabendo-se que:
    - **L = extensão maior da cena**
    - **l = extensão maior do sensor**
    - **p = extensão do pixel no sentido de l**
  - Calcule o valor da *resolução física d* = tamanho do menor detalhe da cena visível na sua imagem formada no sensor, relacionando-a aos demais parâmetros acima.

Intensidade – Imagens Monocromáticas

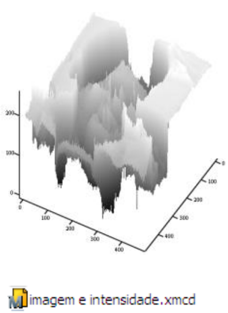


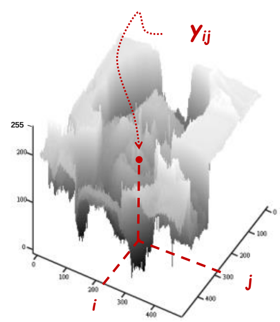
M =

	0	1	2	3	4
0	240	240	241	240	241
1	240	240	241	241	242
2	240	241	240	240	240
3	239	241	240	240	239
4	239	240	241	240	240
5	240	241	241	241	240
6	241	241	241	241	242
7	243	242	241	241	242
8	242	242	242	241	241
9	243	242	242	241	243

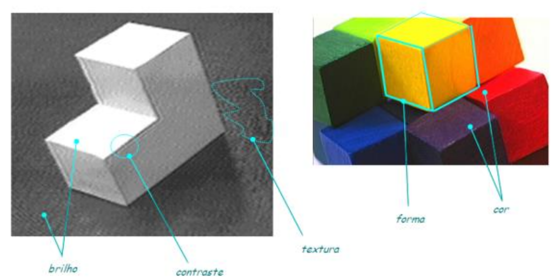
matriz
V linhas x H colunas

Imagem digital

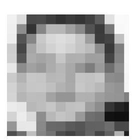




Atributos perceptuais da visão



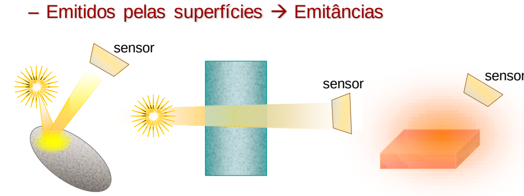
Mapa de intensidades



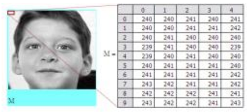
- Estamos estudando as propriedades radiométricas das cenas
  - Manifestam-se nos valores dos pixels da imagem da cena
    - **Valores das intensidades nos pixels**
    - **Dependem da faixa dinâmica da imagem**
      - Imagens Monocromáticas: 8, 10 e 16 bits/pixel
      - Eventualmente → ponto flutuante

Mapa de intensidades

- O que aparece nos pixels da imagem é o que foi captado pelo sensor (da câmera)
  - Espalhado pelas superfícies → Refletâncias
  - Transmitido através dos materiais → Transmitâncias
  - Emitidos pelas superfícies → Emitâncias



Mapa de intensidades



- As intensidades dos pixels traduzem:
  - As <u>propriedades da iluminação</u> da cena
    - O sensor capta a quantidade de luz proveniente dos diversos pontos e direções
  - As <u>propriedades dos materiais</u> da cena
    - O sensor mede as radiâncias correspondentes aos diversos tipos de materiais → refletores, transmissores e emissores de radiação

Mapas de intensidades

- Propriedades radiométricas dos mapas de intensidades (monocromáticas)
  - Brilho → qualidade <u>subjetiva</u> da imagem ser mais clara ou mais escura
  - Contraste → qualidade <u>subjetiva</u> das regiões da imagem apresentarem fronteiras de transição de luminosidade
    - São qualidades **GLOBAIS, da imagem**
    - Apesar do brilho e o contraste serem subjetivos, podemos definir medidas objetivas dos mesmos

Mapas de Intensidades - exemplos

Muito Brilho **Pouco Brilho**

Mapas de Intensidades - exemplos

Pouco Contraste **Muito Contraste**

Mapas de Intensidades

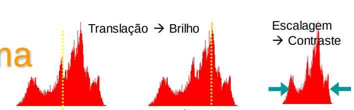
Muito Brilho **Pouco Brilho**

Pouco Contraste **Muito Contraste**

Balanceada

Como encontrar um método objetivo
Para balancear essas qualidades ?

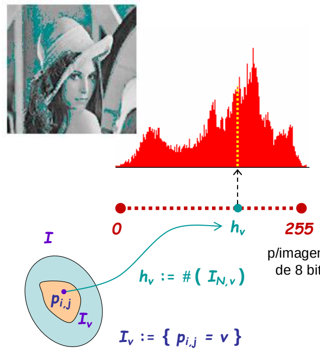
Histograma



- Balancear as qualidades visuais de uma imagem (monocromática) significa
  - modificar consistentemente propriedades globais da imagem que produzam melhor julgamento da qualidade (perceptual)
    - Como brilho, contraste
- A busca de um método objetivo para tanto começa com a análise de como se distribuem os valores dos pixels
  - Isto é, seus tons monocromáticos

Histograma

- É uma relação que mapeia, para cada valor de intensidade que um pixel possivelmente possa ter, o número de vezes em que ela aparece na imagem.



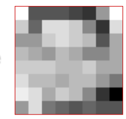
I → imagem
I_v → subconjunto da imagem
h_v → cardinalidade de I_v

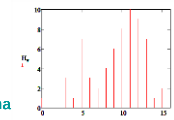
Construção do histograma

Monta histograma.vi

- O histograma é uma tabela das frequências de cada valor ou faixa de valores de intensidade nos pixels da imagem.
  - Pode ser apresentado graficamente
  - Demonstração
    - Montagem de histograma

    Monta histograma.vi





v	H
0	1
1	0
2	0
3	3
4	1
5	7
6	3
7	2
8	4
9	6
10	8
11	10
12	9
13	7
14	1
15	2

Construção do Histograma

1. Dividir o intervalo de dados em classes
2. Contar quantos dados existem em cada classe
   - No caso de imagens cujos tons são valores inteiros, usualmente as classes são cada valor de intensidade presente
     - **Ex: imagem de 8 bits/pixel → 256 classes**
     - **imagem de 4 bits/pixel → 16 classes**

Construção do Histograma

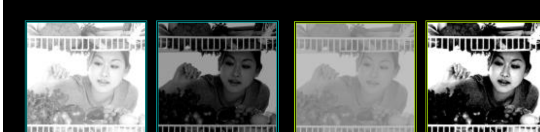
- Exemplo em C:

```
void histograma(unsigned char *pimg, unsigned int size,
   unsigned int *hist) {
    unsigned int p ;

    for (p=0; p<256; p++) hist[p] = 0 ;   } Inicialização de hist

    for (p=0; p<size; p++)
      hist[pimg[p]]++ ;
}
```

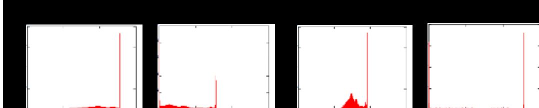
Exemplos de histogramas

- Exemplo 2
  - Estudos de casos   Histograma.vi
  - **Compararemos os histogramas de imagens que apresentem brilhos e contrastes bastante distintos, de modo a aprendermos a interpretar a relação entre propriedades dos histogramas e essas qualidades perceptuais expressas nas imagens**
  - **Alguns dos casos estão nos slides seguintes**

Exemplos de Histogramas

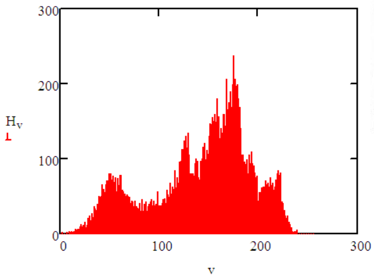


Muito Brilho | **Pouco Brilho** | **Pouco Contraste** | **Muito Contraste**



Histograma – outro exemplo

$H_v := n\_pixels(v)$



$m := rows(I)$ $m = 128$

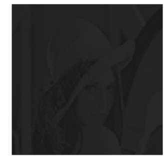
$n := cols(I)$ $n = 128$

$N := m \cdot n$ $N = 16384$

$b := 8$ bits $2^b = 256$

Comparação de Histogramam

Consideremos seguintes imagens

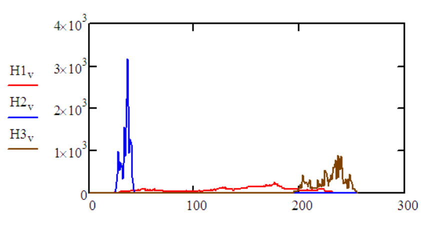


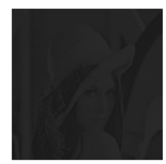
I → Lena I2 → Lena dark I3 → Lena bright

As imagens I2 e I3 são mais homogêneas que I. Notamos que elas apresentam menos **contraste** do que a I. Das três imagens, I3 é a que apresenta maior luminosidade, ou **brilho**. A mais escura é I2

Comparação dos Histogramas

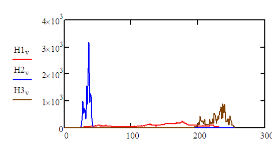
$H1 := histo(I)$ $H2 := histo(I2)$ $H3 := histo(I3)$





I → Lena I2 → Lena dark I3 → Lena bright

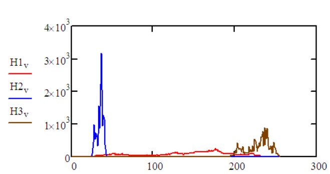
$H1 := histo(I)$ $H2 := histo(I2)$ $H3 := histo(I3)$



Dessa forma, só podemos fazer uma comparação qualitativa.

Comparação dos Histogramas

- Para melhor comparar as imagens a partir de seus histogramas, introduziremos alguns parâmetros que caracterizam quantitativamente o histograma.



Parâmetros do Histograma

- Os histogramas podem ser caracterizados por dois parâmetros (entre outros):
  - Parâmetro de posição:
    - **Média → indica a posição (centralização) do histograma**
  - Parâmetro de dispersão:
    - **Desvio-padrão → indica a largura (dispersão, espalhamento) do histograma**

Parâmetros do Histograma

Média

$$\mu = \frac{1}{N}\sum_{v=0}^{v_{max}} (vH_v)$$

$v_{max} = 2^b$ → b = nº de bits

Para 8 bits → vmax = 255

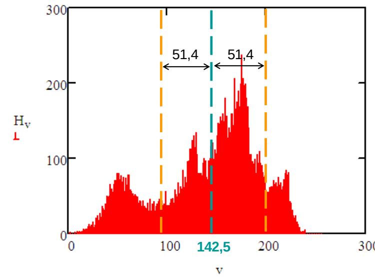
Nessas expressões estão indicados, de fato, os chamados **estimadores** (de máxima verossimilhança) da média e do desvio-padrão. Essas expressões são livres de vício de estimação.

Desvio-padrão

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{v=0}^{v_{max}}[(v-\mu)^2 H_v]}{N-1}}$$

Calculemos a média e o desvio-padrão da imagem Lena:

$H_v := \text{n\_pixels}(v)$ $\mu = 142.529$ $\sigma = 51.399$

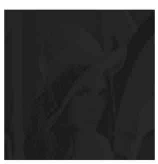


$m := \text{rows}(I)$ $m = 128$

$n := \text{cols}(I)$ $n = 128$

$N := m \cdot n$ $N = 16384$

$b := 8$ bits $2^b = 256$



I → Lena I2 → Lena dark I3 → Lena bright

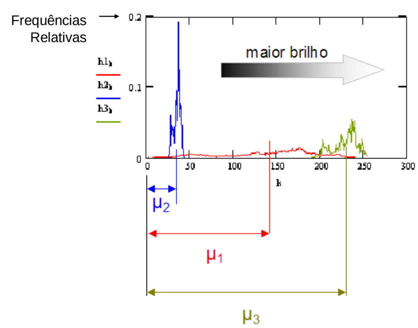
Calculemos, agora, as médias e os desvios-padrões dessas imagens:

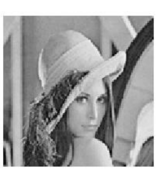
$\mu 1 = 142.529$ $\sigma 1 = 51.399$

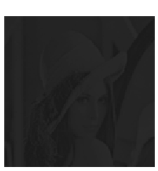
$\mu 2 = 34.979$ $\sigma 2 = 3.736$

$\mu 3 = 228.99$ $\sigma 3 = 13.869$

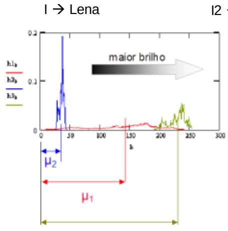
Comparação dos Histogramas







I → Lena I2 → Lena dark I3 → Lena bright



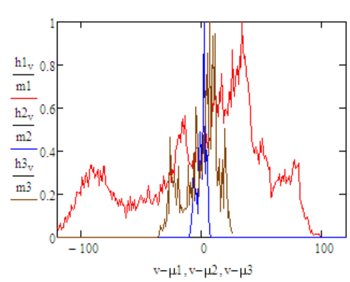
Nota-se aqui uma grande correlação entre o **valor médio** da intensidade nos pixels e o **brilho** da imagem

$\mu 1 = 142.529$

$\mu 2 = 34.979$

$\mu 3 = 228.99$

Para explorar agora a correlação entre o **desvio-padrão** e o **contraste** na imagem, empregaremos a técnica de centralizar os três histogramas na origem e escalar as amplitudes normalizando-as pelo valor máximo de cada histograma.



Valores máximos de cada histograma

$m1 := \max(h1)$ $m1 = 0.014$

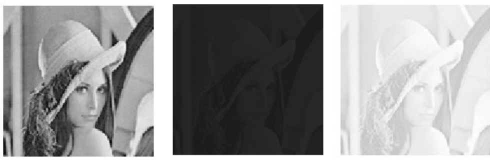
$m2 := \max(h2)$ $m2 = 0.193$

$m3 := \max(h3)$ $m3 = 0.055$

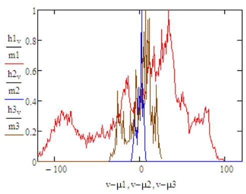
$\sigma 1 = 51.399$

$\sigma 2 = 3.736$

$\sigma 3 = 13.869$



I → Lena   I2 → Lena dark   I3 → Lena bright



Nota-se aqui uma grande correlação entre o desvio-padrão da intensidade nos pixels e o contraste da imagem

$\sigma 1 = 51.399$

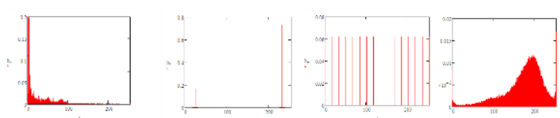
$\sigma 2 = 3.736$

$\sigma 3 = 13.869$

Exercício sobre histogramas

- O próximos slides apresentarão conjuntos formados por 4 imagens e 4 histogramas cada um
- Associe a cada imagem de cada conjunto o seu respectivo histograma

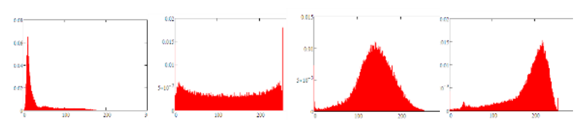
1 2 3 4



A B C D

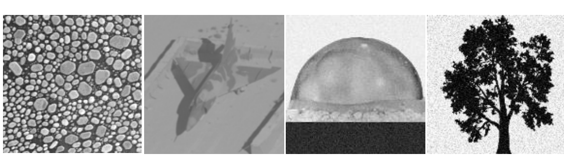
CONJUNTO I

1 2 3 4

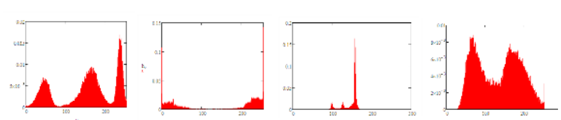


A B C D

CONJUNTO II



1 2 3 4



A B C D

CONJUNTO III

Frequências relativas

Definição do histograma de frequências relativas

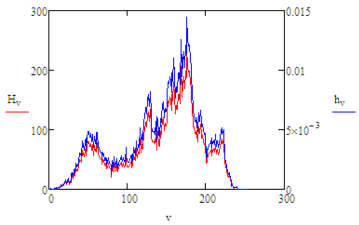
– Frequência relativa define-se por:

$$h_v = \frac{H_v}{N}$$

sendo N a quantidade de pixels na imagem, isto é

$$N = \sum_{v=0}^{v_{max}} H_v \quad \Rightarrow \quad \boxed{h_v = \frac{H_v}{\sum_{v=0}^{v_{max}} H_v}}$$

Frequências relativas - exemplo



Histograma Acumulado

- É definido como sendo a soma dos valores do histograma de 0 até um dado valor v.

$$S_v = \sum_{k=0}^{v} H_k$$

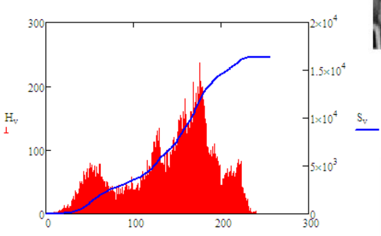
  – Podemos definir também o histograma acumulado de frequências relativas:

$$s_v = \frac{S_v}{N}$$

$$\boxed{s_v = \sum_{k=0}^{v} h_k}$$

Exemplo:

Frequências absolutas



m := rows(I)   m = 128

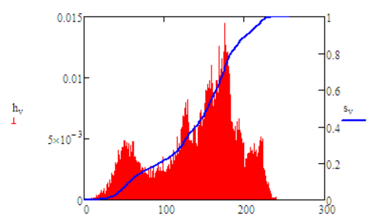
n := cols(I)   n = 128

N := m·n   N = 16384

b := 8 bits $2^b = 256$

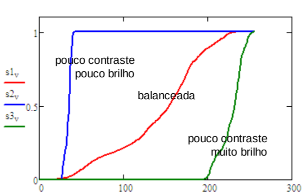
Exemplo:

Frequências relativas



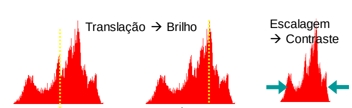
O histograma acumulado de frequências relativas termina sempre no valor final 1.

$$s1_v := \sum_{k=0}^{v} h1_k \qquad s2_v := \sum_{k=0}^{v} h2_k \qquad s3_v := \sum_{k=0}^{v} h3_k$$



Os histogramas acumulados relativos permitem comparar facilmente as qualidades de **brilho** (medida de posição) e **contraste** (medida de dispersão) das imagens.

Greyscale modification



- Podemos alterar as propriedades dos pixels através de <u>transformações das intensidades</u>
  – Transformações que mudam a escala de tons de cinza afetam os valores dos pixels
    - **Deslocam uma coluna inteira do histograma**
    - **Podem afetar significativamente os parâmetros do histograma → média e desvio-padrão**
  – Podem ser implementadas consistentemente de modo a alterar propriedades globais da imagem
    - **Como brilho, contraste**

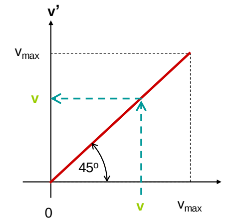
Transformação de escalas de cinza

- Princípio geral
  - Consiste em re-mapear os valores das intensidades (tons de cinza) fazendo-os corresponder a novos valores, através de uma **função de transferência**
- Implementação
  - Pode ser realizada especificando-se a função de transferência analiticamente ou através de uma tabela

Transformação de escalas de cinza

- Função de transferência
  - Identidade
    - **Nada muda**
    - **Os valores são re-mapeados neles mesmos**

$$v' = v$$

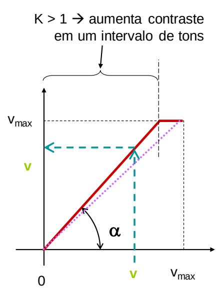


Ex: p/ 8 bits – v_{max} = 255

Transformação de escalas de cinza

- Função de transferência
  - Linear homogênea
    - **Altera o contraste**
      - Aumenta para k>1
    - **Preserva a origem**

$$v' = kv$$

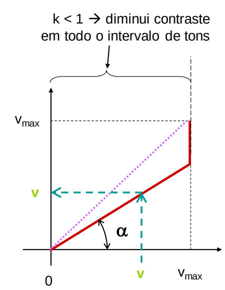


Ex: p/ 8 bits – v_{max} = 255

Transformação de escalas de cinza

- Função de transferência
  - Linear homogênea
    - **Altera o contraste**
      - Aumenta para k>1
      - Diminui para k<1
    - **Preserva a origem**

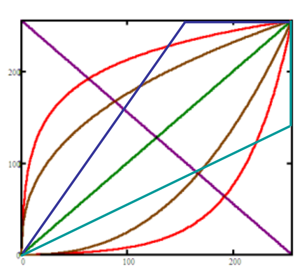
$$v' = kv$$



Ex: p/ 8 bits – v_{max} = 255

Trasformações de escala de intensidades

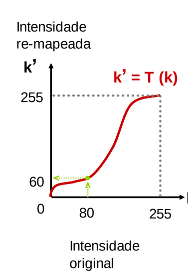
- São aplicações de funções para re-mapear a escala de tons de cinza
  - São eficientemente implementadas via LUT
- Tipos:
  - Lineares
  - Polinomiais
  - Logaritmicas
  - Exponenciais
  - Inversoras



Demonstração - LUT

Transformações com LUT

- Construir um programa que leia os valores das intensidades nos pixels de uma imagem monocromática e os re-mapeie com diversas funções de transferência implementadas via Look-up table (LUT)
  - a) Linear - com ganho β dado
  - b) Logaritmica, base a (→ $\log_a k$)
  - c) Exponencial, base a (→ a^k)
  - d) Potência,expoente γ (→ k^γ)
  - e) Inversão da escala (negativo foto)



- Saturar os valores normalizando-os para o intervalo [0,255].

Construção da LUT

- Dada a função de transferência *f* e o valor máximo de intensidade maxI, a função **table_map** cria a LUT

Construção da LUT

- Dada a função de transferência *f* e o valor máximo de intensidade maxI, a função **table_map** cria a LUT

$$
\text{table\_map}(f,\text{maxI}) := \left|\begin{array}{l} \text{for } k \in 0..\text{maxI} \\ \quad \left|\begin{array}{l} T_k \leftarrow f(k) \;\text{ if }\; 0 \le f(k) \le 255 \\ T_k \leftarrow 0 \;\text{ if }\; f(k) < 0 \\ T_k \leftarrow 255 \;\text{ if }\; f(k) > 255 \end{array}\right. \\ T \end{array}\right.
$$

Aplicação da LUT à imagem

- Dadas a LUT *T* e a matriz *M* contendo a imagem, a função **remap(M,T)** re-mapeia as intensidades da imagem seguindo a LUT dada T

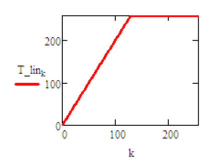
$$
\text{remap}(M,T) := \left|\begin{array}{l} \text{for } i \in 0..\text{rows}(M)-1 \\ \quad \text{for } j \in 0..\text{cols}(M)-1 \\ \qquad \left|\begin{array}{l} k \leftarrow M_{i,j} \\ MT_{i,j} \leftarrow T_k \end{array}\right. \\ MT \end{array}\right.
$$

LUT Linear

seja : $\beta := 2$ por exemplo e $f(k) := \beta \cdot k$

$T\_lin := \text{table\_map}(f, 255)$

$MT := \text{remap}(M, T\_lin)$



seja : $M := \text{READBMP}(\text{".\textbackslash img\textbackslash Lena1.bmp"})$

LUT Logaritmica

$f(k) = \Lambda \cdot \log(k+1)$

A parcela +1 força a função f(k) passar pela origem.Devemos calcular Λ tal que f(255) = 255, isto é, a função passa pelo ponto diagonalmente oposto à origem. Temos:

$255 = \Lambda \cdot \log(255+1)^{-}$

Logo : $\Lambda := \dfrac{255}{\log(256)}$

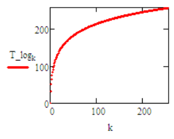
e portanto,

p.ex.- base 10

$f(k) := \Lambda \cdot \log(k+1)$ $\Lambda = 105.886$

$MT := \text{remap}(M, T\_log)$

$T\_log := \text{table\_map}(f, 255)$



LUT Expoencial

$f(k) = \left(e^{\frac{k}{\kappa}} - 1\right)$

A parcela -1 força a função passar pela origem. Devemos calcular o valor de κ tal que f(255) = 255. Temos:

$e^{\frac{255}{\kappa}} - 1 = 255$

$MT := \text{remap}(M, T\_exp)$

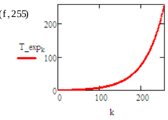
portanto :

$\dfrac{k}{\kappa} = \ln(256)$ ou seja, $\kappa := \dfrac{255}{\ln(256)}$

portanto resulta :

$f(k) := \left(e^{\frac{k}{\kappa}} - 1\right)$ $\kappa = 45.986$

$T\_exp := \text{table\_map}(f, 255)$



LUT Potência

Temos : $f(k) = \rho \cdot k^{\gamma}$

Devemos calcular ρ de modo que f(255) = 255. Então:

$255 = \rho \cdot 255^{\gamma}$

Logo : $\rho = 255^{1-\gamma}$

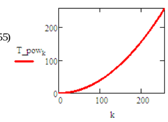
$f(k) = 255^{1-\gamma} \cdot k^{\gamma}$

exemplo : ***potência quadrada***

$\gamma := 2$

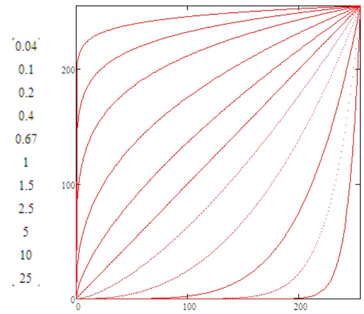
$f(k) := 255^{1-\gamma} k^{\gamma}$

T_pow := table_map(f, 255)



MT := remap(M, T_pow)

LUT Potência



Exemplos de funções de transferência tipo potência de diversos valores de expoentes

Transformação de Histograma

Introdução

As transformações de histograma são usadas para se conseguir um histograma com determinada forma que produza efeitos adequados

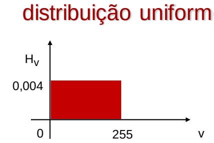
- Transformações de histograma
  - **Equalização → tornar o histograma uniforme**
  - **Normalização → para proporcionar comparação**
  - **Especificação (*histogram matching*) → especificar uma forma para o histograma**

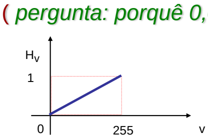
Equalização de Histograma

- A idéia aqui é encontrar uma forma de histograma que torne o contraste o maior possível sem haver perda de brilho
- Intui-se que a situação ideal seria alcançada se os diferentes valores de intensidades se distribuissem da maneira mais uniforme possível entre os pixels, de modo a produzir uma distribuição bem equilibrada
  - Isso é corroborado pela Teoria da Informação, que veremos mais adiante.

Equalização de histograma

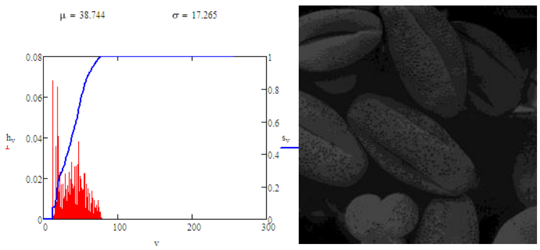
- Como resultado, pode-se concluir que seria ideal que o histograma se aproxime de uma distribuição uniforme.
- Exercício (para agora)
  - Esboce o histograma acumulado de uma distribuição uniforme (*pergunta: porquê 0,004 ?*)





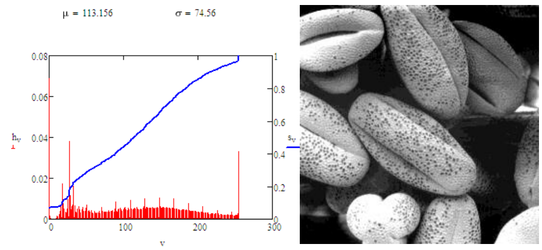
Exemplo

- Considere a imagem dos grãos de pólen e seu histograma:

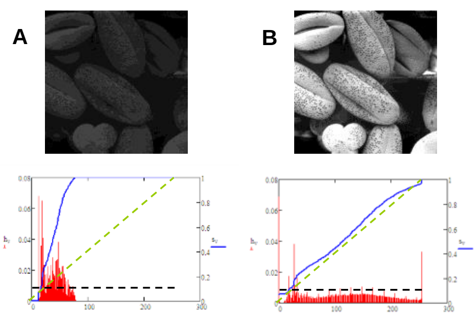


Exemplo

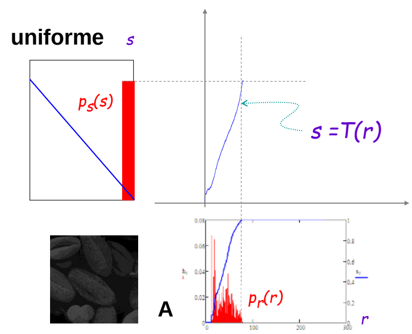
- Comparemos com esta versão:



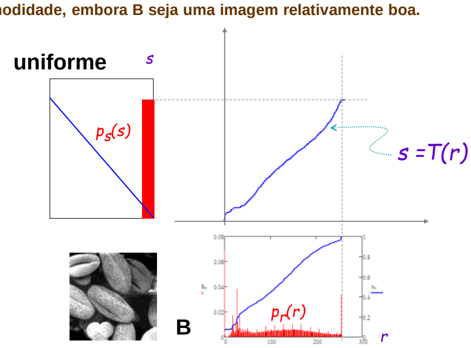
A imagem B apresenta melhor definição, com mais contraste e brilho adequado. Seus histogramas aproximam-se mais da distribuição uniforme.



Existe uma transformação s = T(r) de escalas de cinza (LUT) que torne a distribuição da imagem A mais próxima de uma uniforme ?

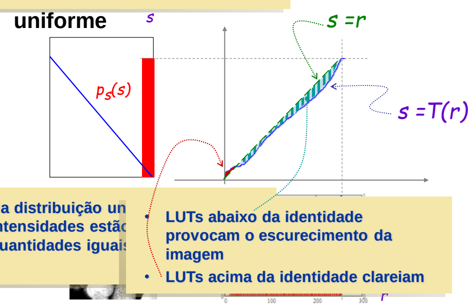


[illegible] de comodidade, embora B seja uma imagem relativamente boa.



- **Usando-se a função identidade T(r)=r como LUT, os tons seriam remapeados nos mesmos valores originais**

...rmação de escala ...udar a quantidade ...ejar valores de

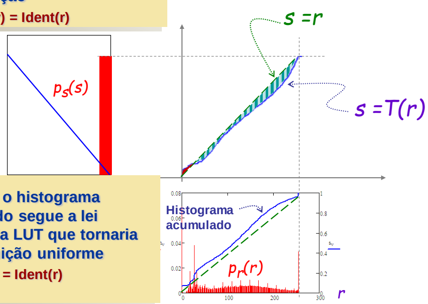


- **Na distribuição un... intensidades estão... quantidades iguai...**

- **LUTs abaixo da identidade provocam o escurecimento da imagem**
- **LUTs acima da identidade clareiam**

- Ou seja, se usarmos como T(r) o histograma $h_v(r)$, produziremos uma LUT capaz de equalizar a distribuição
  $h(r).T^{-1}(r) = Ident(r)$

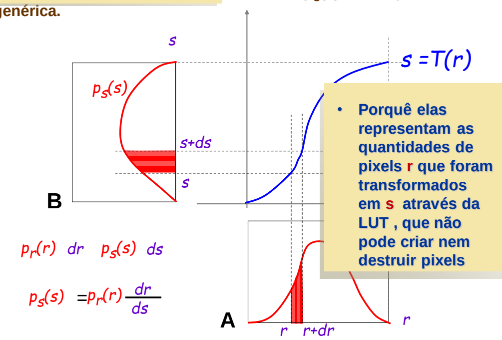
a figura transfere valores
mais escuros e valores
 mais claros, em proporções
uniforme



- Note que o histograma acumulado segue a lei inversa da LUT que tornaria a distribuição uniforme
  $T(r).T^{-1}(r) = Ident(r)$

- Porquê essas áreas devem ser iguais ?

 a forma de uma transformação
JT) que torne a densidade $p_r(r)$
densidade $p_s(s)$ da imagem B
genérica.

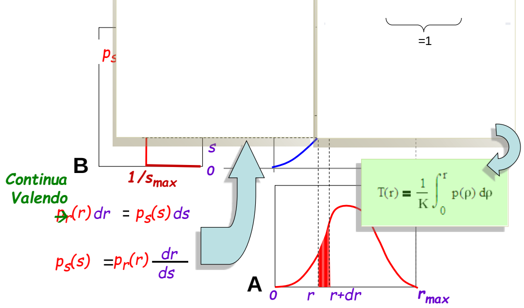


$p_r(r)\ dr \quad p_s(s)\ ds$

$p_s(s) = p_r(r)\frac{dr}{ds}$

- Porquê elas representam as quantidades de pixels r que foram transformados em s através da LUT , que não pode criar nem destruir pixels

Usando o res
uniforme e va
transformaçã
densidade p
uniforme.



$$T(r) = \frac{1}{K}\int_0^r p(\rho)\, d\rho$$

Continua Valendo

$p_r(r)\, dr = p_s(s)\, ds$

$p_s(s) = p_r(r)\frac{dr}{ds}$

Conclusões

- A equalização do histograma é a transformação de uma imagem em outra tal que seu histograma se torne o mais uniforme possível (plano, *"flat"*)
- É feita através de uma modificação da escala de intensidades, aplicando-se uma lookup table (LUT) específica
- A LUT corresponde ao histograma acumulado (frequências absolutas) da imagem dada

Condições de equalização

- A validade do método apresentado requer que se observe os seguintes requisitos:
  1. T(r) deve ser monotonicamente crescente (de modo a ser inversível, mantendo a ordem de transição preto → branco passando pelos cinzas com brilho progressivamente maior)
  2. $0 \leq T(r) \leq 1$ para $0 \leq r \leq 1$, devendo-se normalizar r e s pelos seus maiores valores

Algoritmo de equalização

- A abordagem mostrada baseou-se em r e s variando de modo contínuo.
- No caso das imagens, r e s representam tons de cinza, que variam de forma **discreta**.

$$s_k = T(r_k) = \frac{1}{K}\sum_{v=0}^{k} h_{r_v}$$

hr é o histograma de Frequências relativas dos pixels da imagem dada

- Como consequência, a equalização **não é 100% perfeita**, porém o histograma resultante $p_s(s)$ será mais uniforme que o original
- Questão → explique por que não é 100% perfeita

Caso discreto

- No caso discreto, a transformação geralmente não produz um histograma uniforme, apenas aproxima.
- Ela é dada por:

$$s_k = T(r_k) = \frac{1}{K}\sum_{v=0}^{k}\frac{n_{r_v}}{n} = \frac{1}{nK}\sum_{v=0}^{k} n_{r_v}$$

- Lembrando que $K = \frac{1}{s_{max}}$

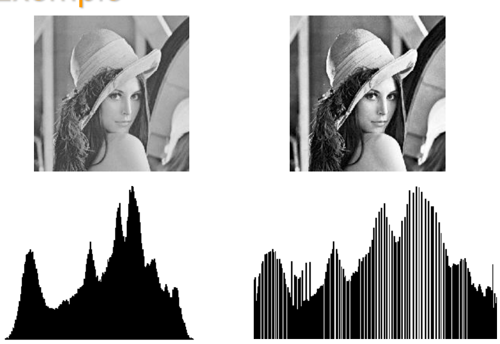
Caso discreto

- A transformação correta é dada por:

$$s_k = T(r_k) = \left\lfloor \frac{1}{nK}\sum_{v=0}^{k} n_{r_v} \right\rfloor$$

- onde $\lfloor \bullet \rfloor$ é o menor inteiro em $\bullet$

Exemplo



Algoritmo de equalização

1. Construir o histograma de frequências relativas dos pixels
2. A partir do mesmo, construir o histograma acumulado de frequências relativas
3. Utilizar o histograma acumulado como LUT para produzir a imagem equalizada
4. Arrendondar os resultados para o tom de cinza imediatamente inferior

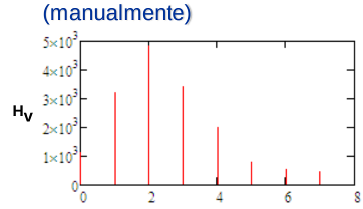
- Exercício – Proponha um algoritmo para equalizar imagens monocromáticas.
- Exercício – implementar (em Python p.ex.) esse algoritmo de equalização de imagens monocromáticas

Equalização de histograma

- Propriedade: a equalização de histograma é uma transformação idempotente (isto é, aplicar a transformação mais de uma vez não modifica o resultado)
  - Exercício:
    - **Demonstre isso.**

Exercício

- Considere o histograma dado pelo gráfico e a tabela como sendo de uma certa imagem monocromática. Calcular o histograma equalizado (manualmente)



v	H_V
0	1120
1	3214
2	4850
3	3425
4	1995
5	784
6	541
7	455

Roteiro de solução

1. Normalizar os valores dos tons de cinza, dividindo-os pelo maior (= 7 no caso)
2. Tabelar as frequências relativas, dividindo as absolutas pelo número total de pixels
3. Tabelar as frequências relativas acumuladas
4. Usar as frequências acumuladas como LUT para determinar o novo mapeamento dos tons
5. Construir o novo histograma

v	$r = v / v_{max}$	$H_V(r)$	$h_V(r)$	Σh_V	LUT	$s = T^{-1}(r)$	$h_V(s)$