
Capítulo II – Imagem Digital

Proc. Sinal e Imagem
Mestrado em Informática Médica

Miguel Tavares Coimbra

Resumo

1. Formação de uma imagem
2. Representação digital de uma imagem
3. Cor
4. Histogramas
5. Ruído

1. Formação de uma imagem

1. Formação de uma imagem

- a. Sistema visual humano
- b. Sistemas de captura de imagem
- c. Sensores digitais

2. Representação digital de uma imagem

3. Cor

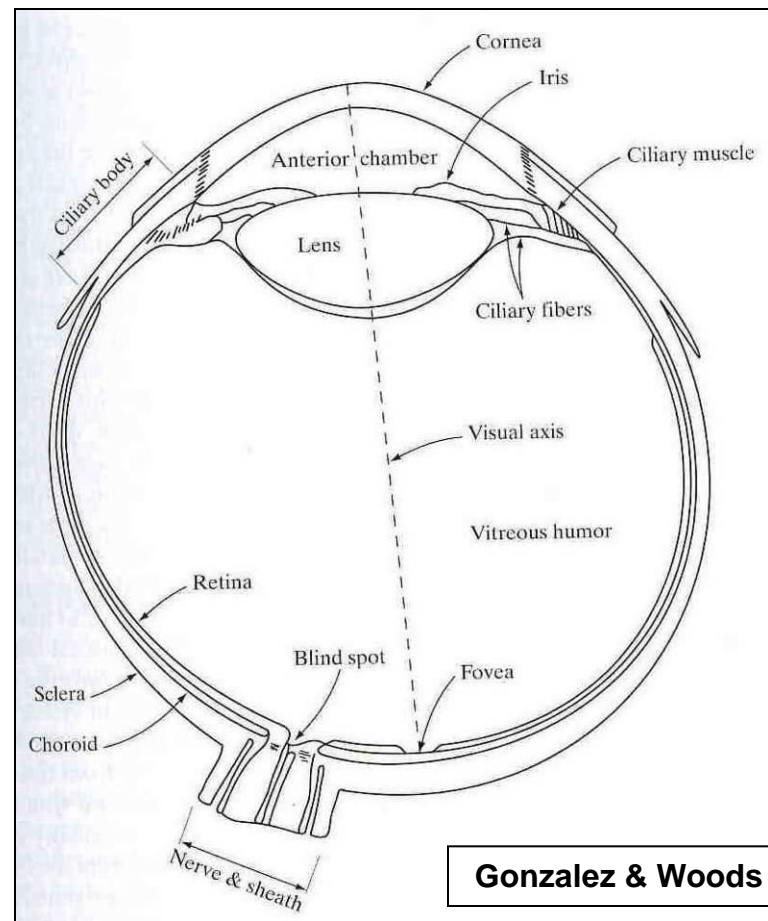
4. Histogramas

5. Ruído

Sistema visual humano

- Como é que um ser humano 'vê'?
 - Sistema óptico (olho)
 - Processamento e reconhecimento (cérebro)

A grande complexidade do nosso sistema de visão reside aqui!

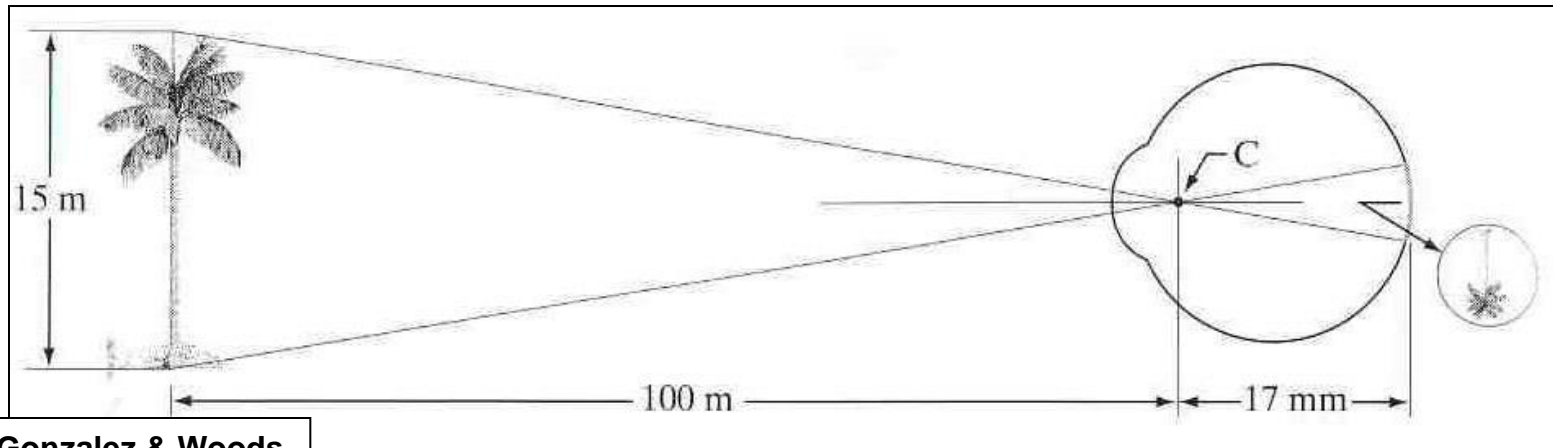


Gonzalez & Woods

Formação de uma imagem

- O nosso sistema óptico possui:
 - Focagem flexível
 - Adaptação à luminosidade
 - Reconstrução mental

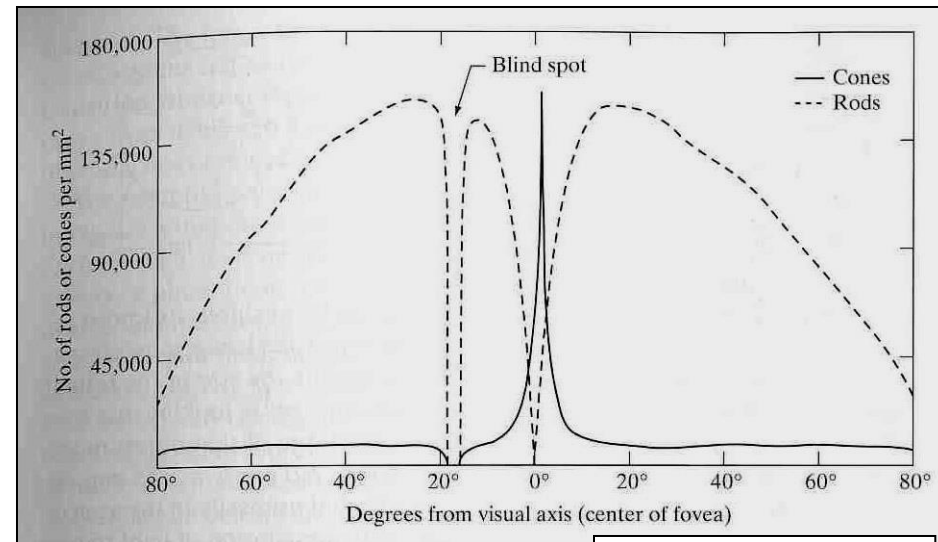
Ilusões ópticas!
Podemos ver
coisas que não
existem!



Gonzalez & Woods

Luz e cor

- **A nossa retina possui:**
 - **Cones** – Medem a frequência da luz (cor)
 - 6 a 7 milhões
 - Grande definição (nervo único)
 - Alta luminosidade
 - **Bastonetes** – Medem a intensidade da luz (luminosidade)
 - 75 a 150 milhões
 - Baixa definição (vários para um nervo)
 - Baixa luminosidade



Gonzalez & Woods

Apenas vemos cor no centro do nosso campo de visão!

Luz visível

- A luz é uma radiação electromagnética

- Pode conter várias ‘frequências’ de luz.

- Luz visível

Um prisma decompõe a luz nas suas várias frequências (cor!)

- A gama de frequências às quais o sistema óptico humano é sensível.

- Comprimentos de onda: 400 – 700nm.



Outros tipos de luz

- Raios X, ultravioletas, infravermelhos, etc.

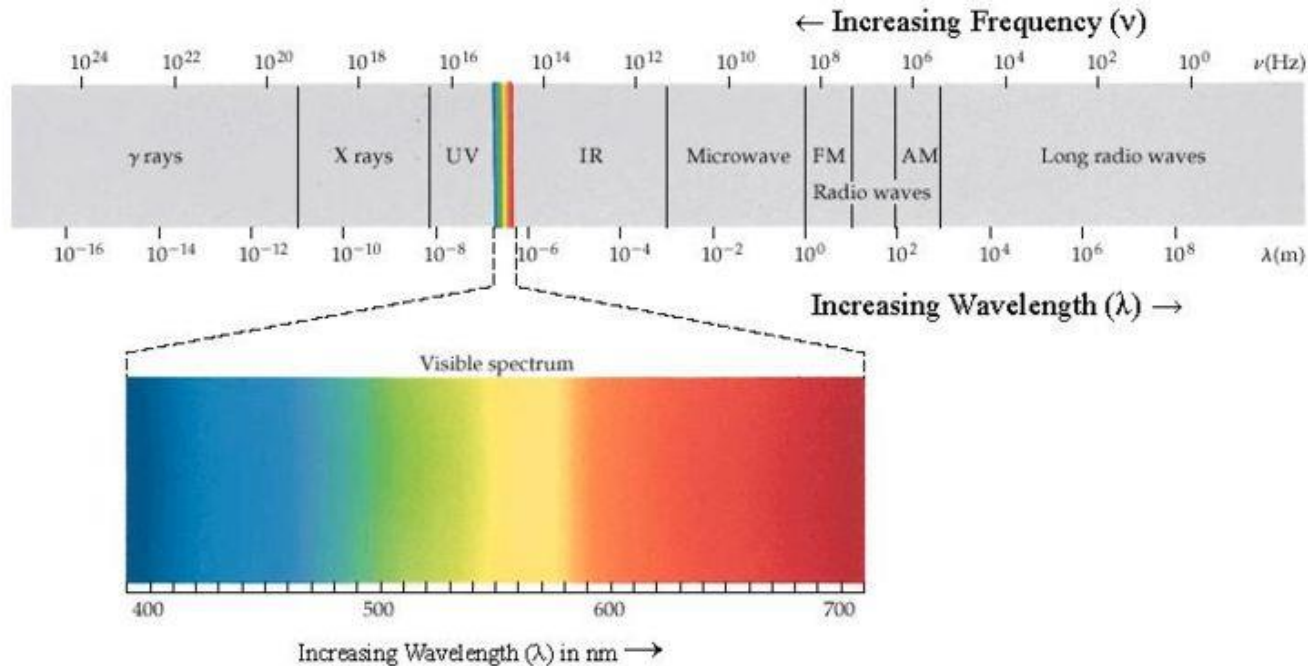


Imagem médica

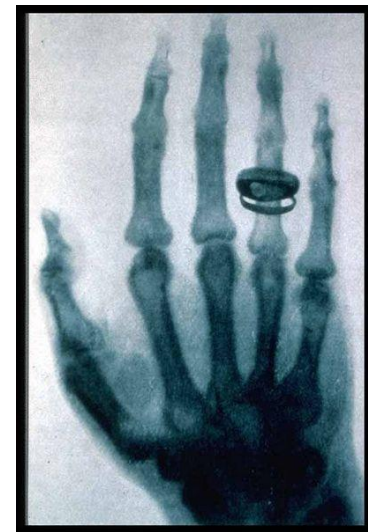
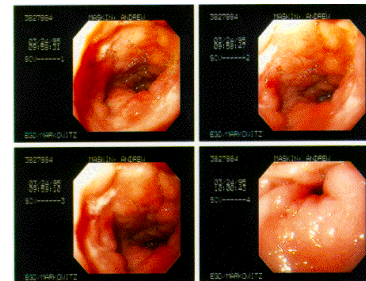
- Não usa necessariamente luz visível.

- Luz visível

- Endoscopia, etc.

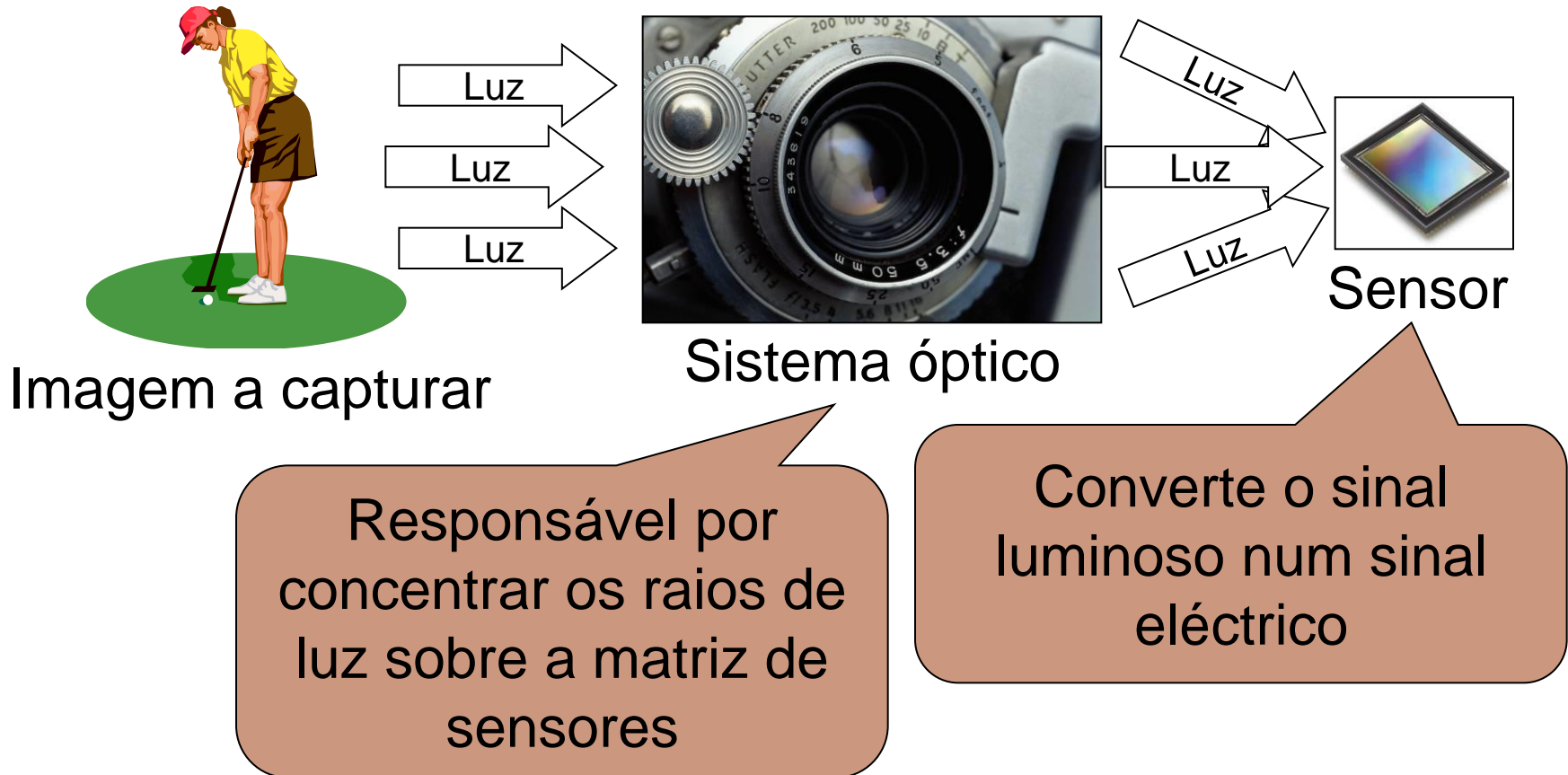
- Luz invisível

- Radiografia, Tomografia, etc.



- Permite ver zonas sem visibilidade externa.
- Melhoria impressionante da capacidade diagnóstica da medicina!

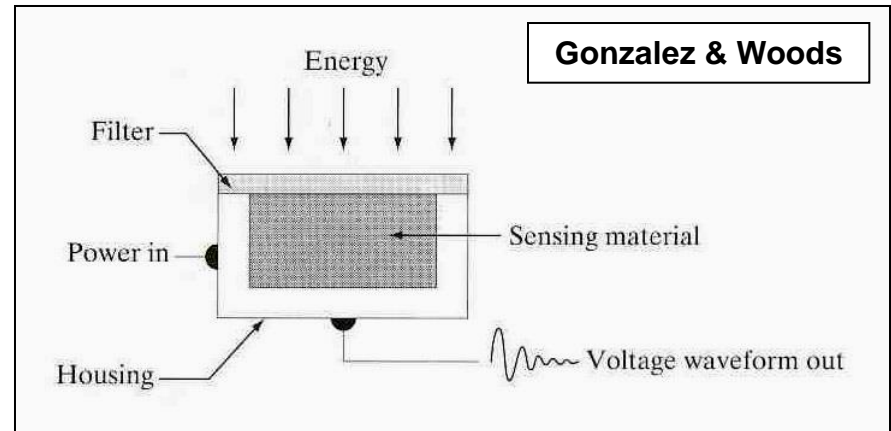
Sistema de captura de imagem



Sensor digital

- Como 'vê' uma câmara digital?

- Sistema óptico
- Sensores digitais
 - CCD
 - CMOS

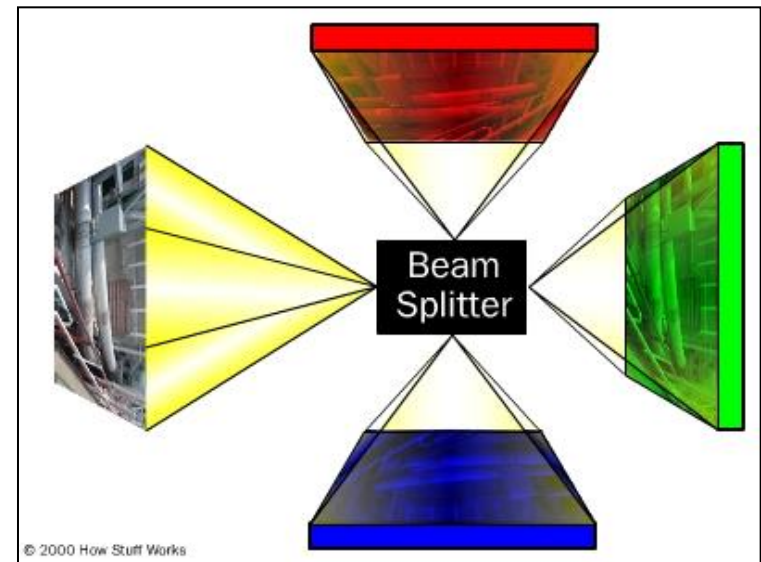
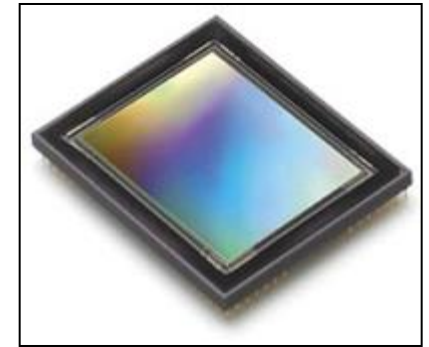
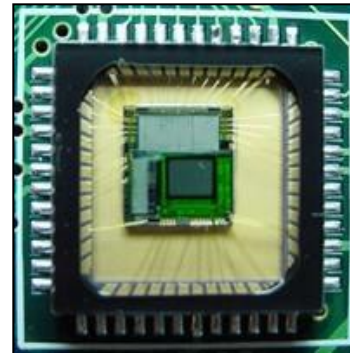


- Imagem digital

- Obtida através da projecção da luz através do sistema óptico, para uma matriz 2D de sensores digitais

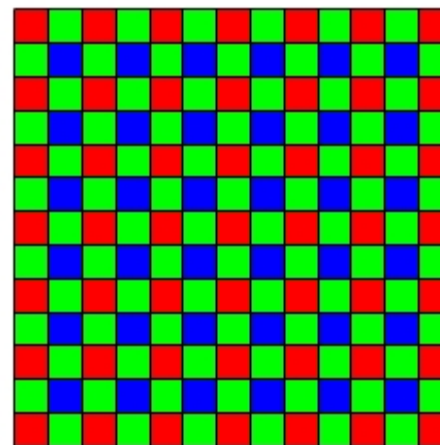
Captura da cor

- **Sensores digitais**
 - Apenas sentem intensidade da luz.
 - Sistema óptico divide a luz em 3 componentes:
 - Verde
 - Vermelho
 - Azul
 - Mais sensores verdes do que vermelhos e azuis.



Matriz de sensores

- Os sensores formam uma matriz 2D de pontos.
- Cada sensor regista um valor (pixel).
- Quanto mais pequenos os sensores:
 - Melhor a resolução da imagem.
 - Maior o ruído capturado.
- **Várias formas de capturar a cor.**



Bayer filter

© 2000 How Stuff Works

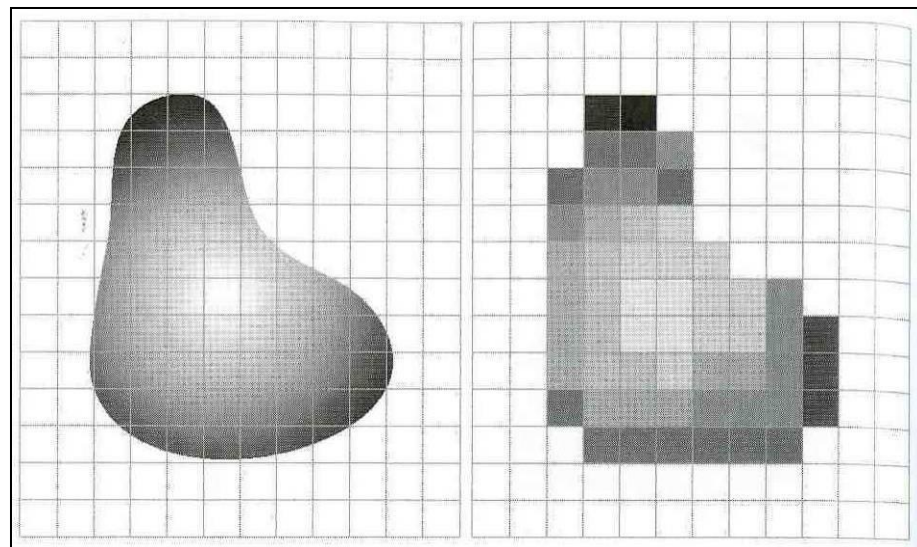
O sistema visual humano é mais sensível ao verde do que ao vermelho e ao azul

2. Representação digital de uma imagem

1. Formação de uma imagem
- 2. Representação digital de uma imagem**
 - a. Resolução espacial
 - b. Quantização
3. Cor
4. Histogramas
5. Ruído

Imagem digital

- **Imagem analógica**
 - Contínua no tempo e na amplitude.
 - Melhor qualidade.
 - Sensível ao ruído.
- **Imagem digital**
 - Discreta no tempo e na amplitude.
 - Perda inicial: quantização e amostragem.
 - Robustez ao ruído.
 - Pode ser processada por um computador!

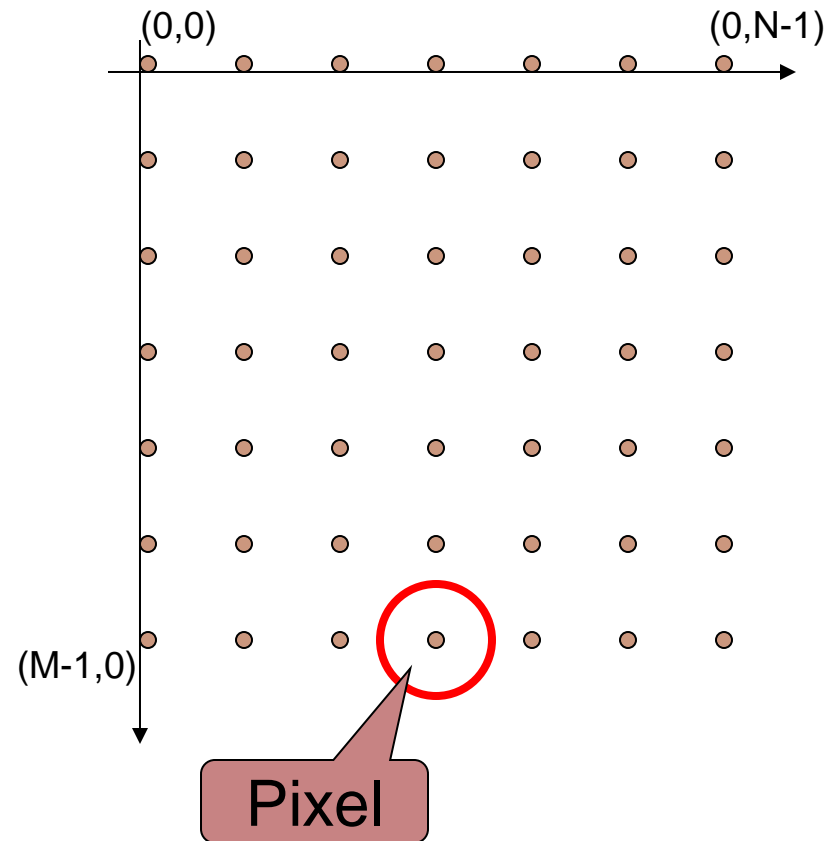


Conversão Analógica-Digital (AD)

Representação matemática

- Cada ponto é um pixel com amplitude:
 - $f(x,y)$
- Uma imagem é uma matriz $M \times N$:

$$M = \begin{bmatrix} (0,0) & (0,1) & \dots \\ (1,0) & (1,1) & \dots \\ \dots & & \dots \end{bmatrix}$$



Resolução espacial

- Resolução espacial:
 $M \times N$
 - A amostragem define o número de pixels da nossa imagem.
 - Mais resolução implica maior qualidade mas também maior espaço de armazenamento!



Alterar a resolução de uma imagem pode envolver a interpolação de novos pixels –
Ruído!

Quantização de uma imagem

- O valor de cada pixel pode ser guardado por um número variável de bits.

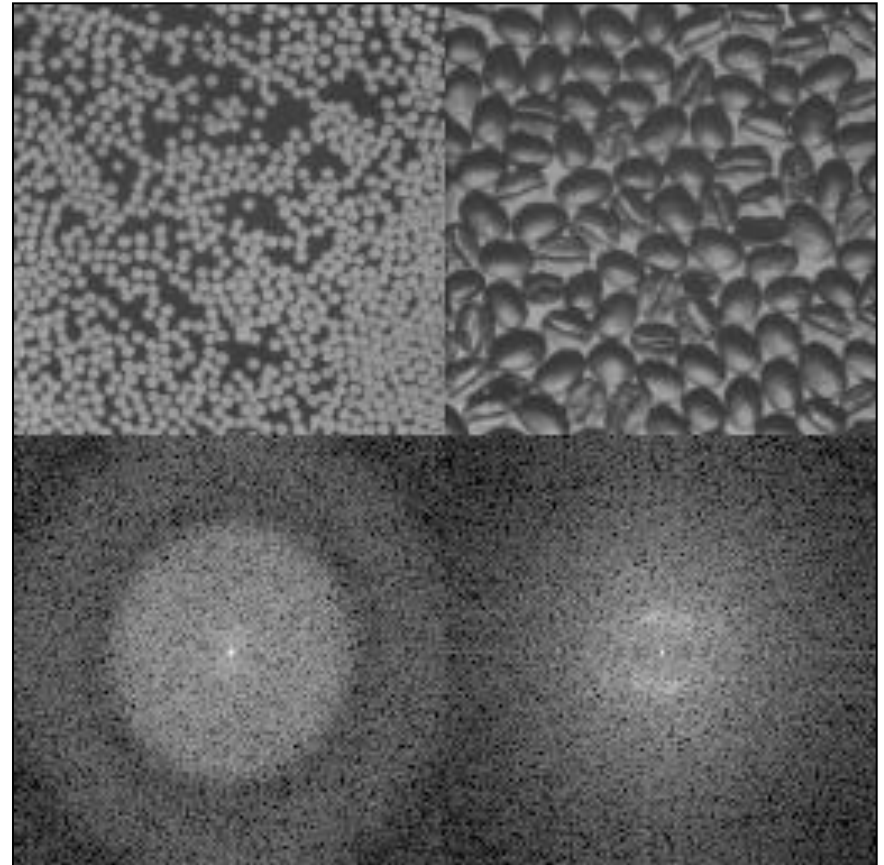
$$N_{\text{valores}} = 2^{\text{nbits}}$$

- **Maior número de bits:**
 - Maior qualidade
 - Maior espaço de armazenamento



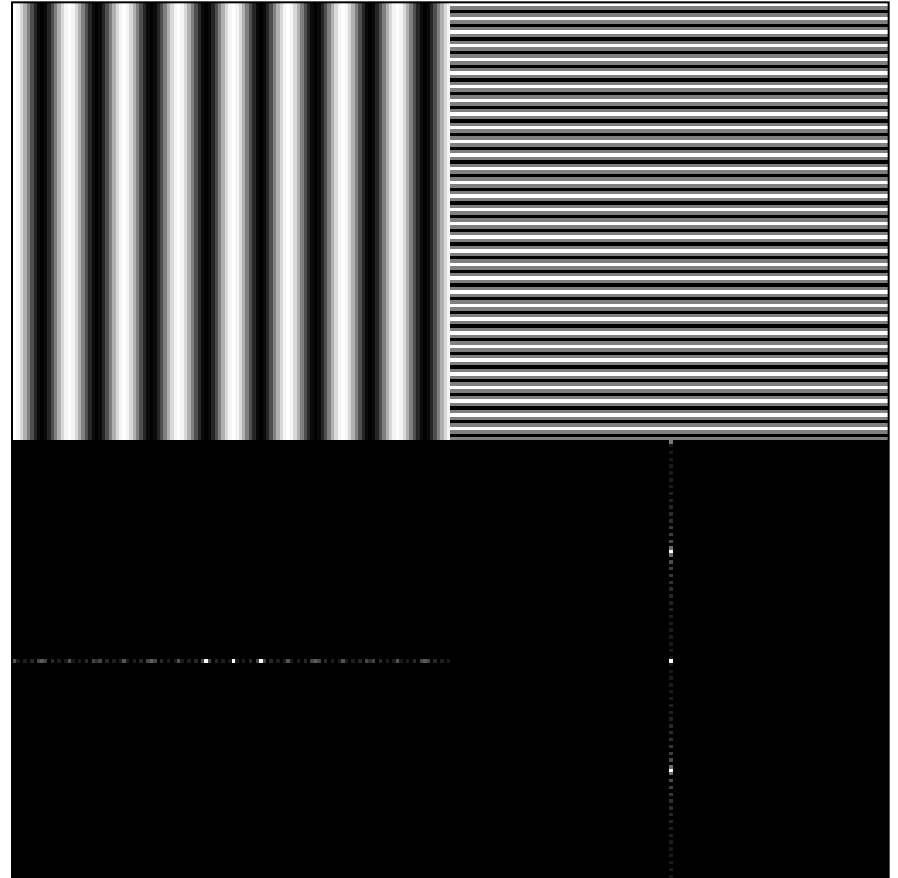
Espaço de frequências

- Como outro sinal qualquer, podemos converter uma imagem para o espaço de frequências.
 - Altas frequências implicam grandes variações de gradiente.



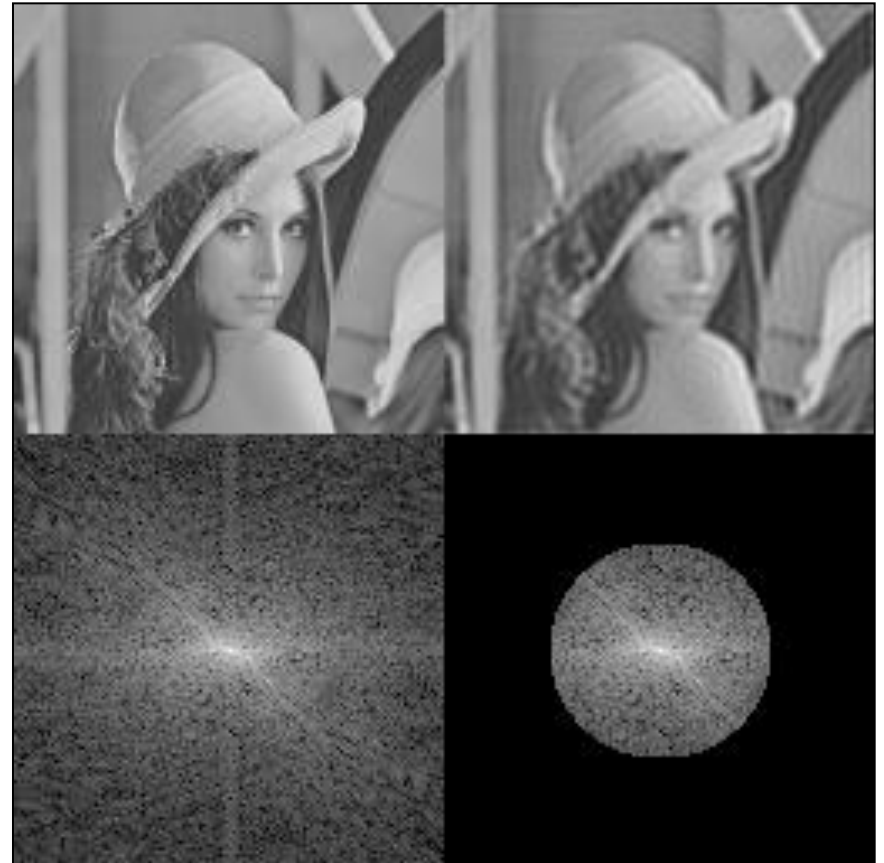
Frequências horizontais e verticais

- **Frequências:**
 - Horizontais correspondem a gradientes horizontais.
 - Verticais correspondem a gradientes verticais.
- **Frequências 'puras'**
 - Correspondem a gradientes com amplitudes sinusoidais.



Exemplo: Frequências 'baixas'

- Se eliminar as frequências altas a imagem fica 'borratada'
- Porquê?

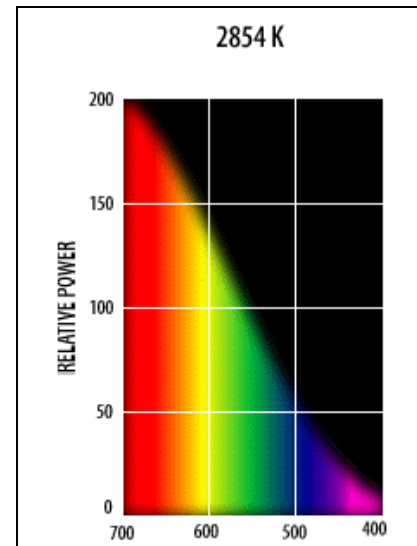
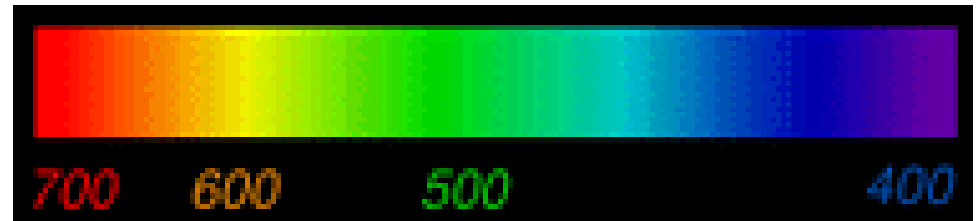


3. Cor

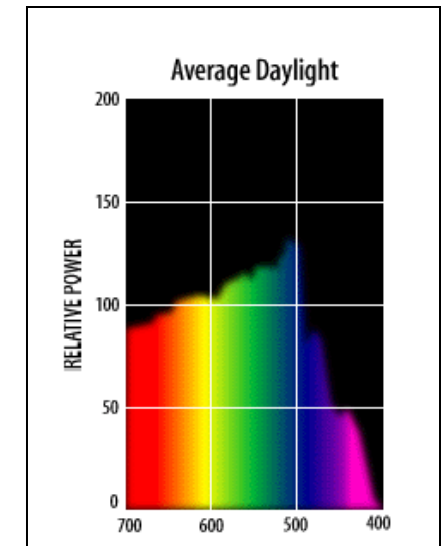
1. Formação de uma imagem
2. Representação digital de uma imagem
- 3. Cor**
 - a. Definição de cor
 - b. Espectro visível
 - c. Espaços de cor
4. Histogramas
5. Ruído

O que é a cor?

- **Cor pura**
 - Frequência única no espectro visível da radiação electromagnética
- **Cor composta**
 - Espectro de frequências contém mais do que um valor



Lâmpada de Incandescência

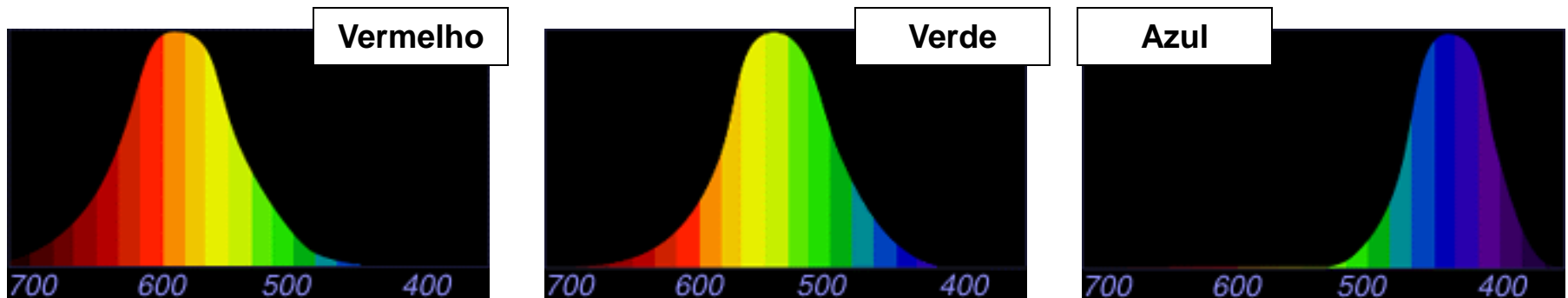


Luz do Sol

Como vemos nós a cor?

- Cones

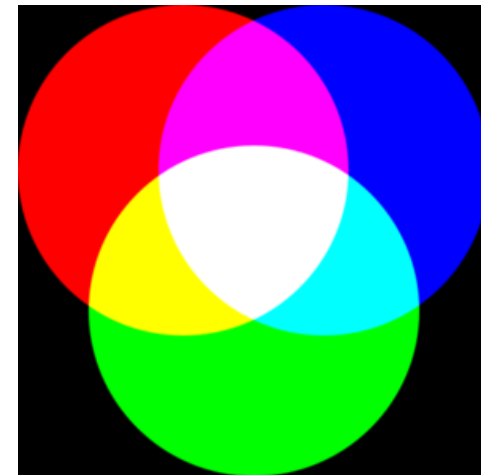
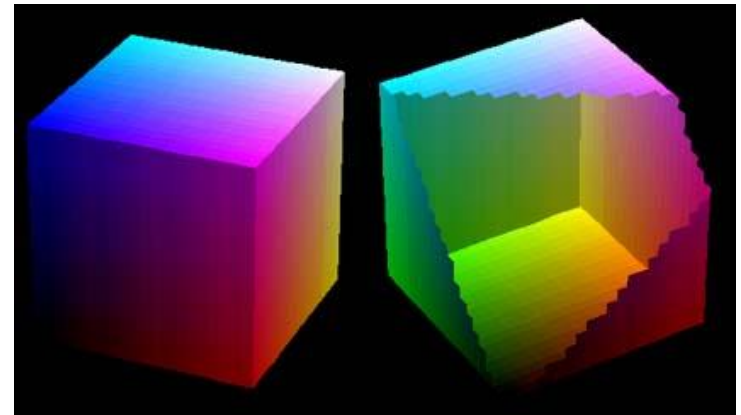
- O ser humano possui três tipos de cones na retina com sensibilidades diferentes



Torna-se natural modelar as imagens digitais usando três planos de cor!

O modelo RGB

- Modelo aditivo que usa 3 cores: Red, Green, Blue.
- Define-se por um cubo, em que cada cor é um eixo.

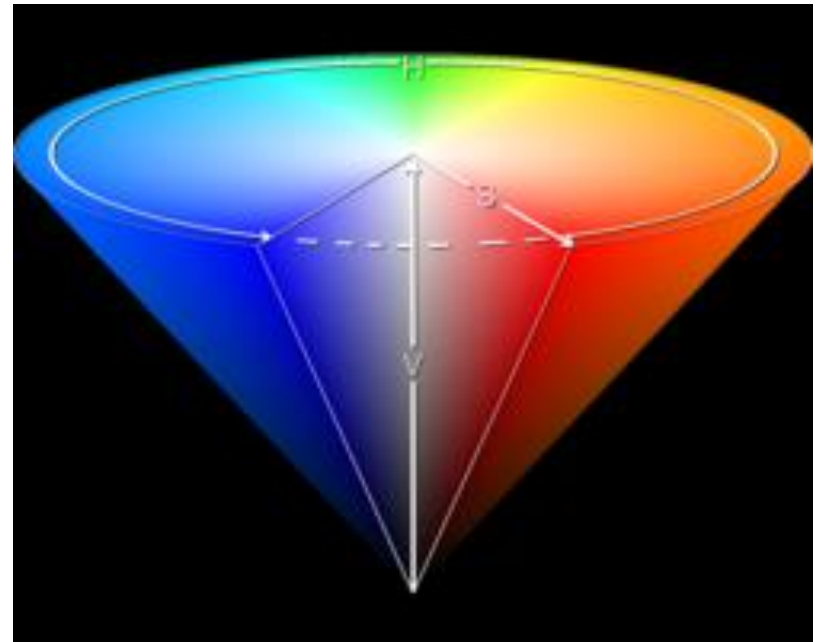


Adequado às tecnologias de projecção de imagem.

O modelo HSV

- Divide a cor em: Hue, Saturation, Value.
- Mais adequado para *descrever* uma cor.
- Divide a luminosidade (**V**) da cor (**H,S**).

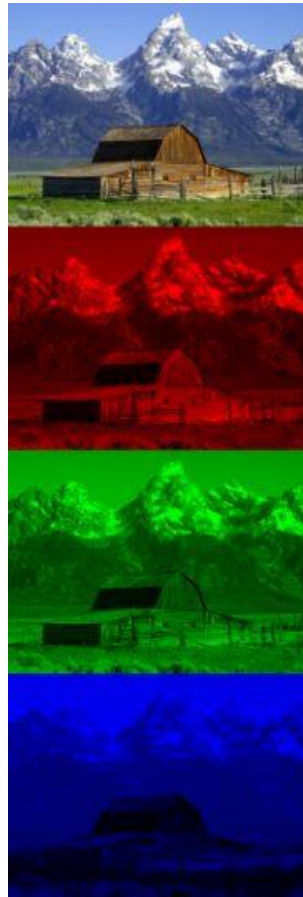
Adequado para
processamento de
imagem!



Exemplo de vários espaços de cor

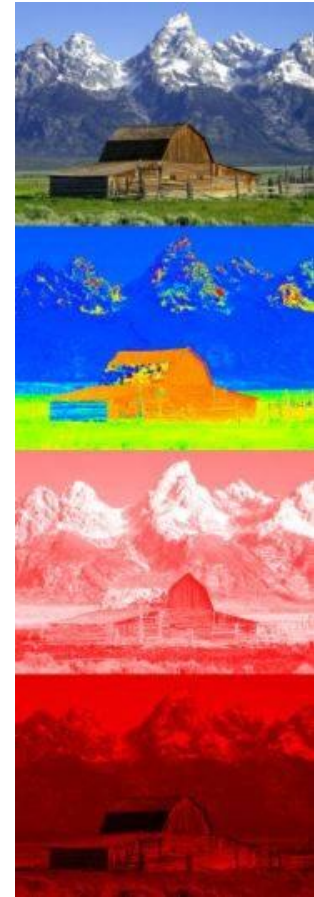
- **RGB**

- R
- G
- B



- **HSV**

- H
- S
- V



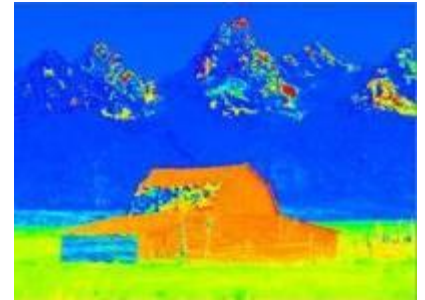
RGB para HSI

Hue:

$$H = \begin{cases} \theta & \Leftarrow B \leq G \\ 360 - \theta & \Leftarrow B > G \end{cases}$$



$$\theta = \cos^{-1} \left\{ \frac{\frac{1}{2} [(R - G) + (R - B)]}{\left[(R - G)^2 + (R - B)(G - B) \right]^{1/2}} \right\}$$



Saturation

$$S = 1 - \frac{3}{(R + G + B)} [\min(R, G, B)]$$



Intensity

$$I = \frac{1}{3} (R + G + B)$$



HSI para RGB

- Depende do 'sector' de H

$$120 \leq H < 240$$

$$0 \leq H < 120$$

$$B = I(1 - S)$$

$$R = I \left[1 + \frac{S \cos H}{\cos(60^\circ - H)} \right]$$

$$G = 3I - (R + B)$$

$$240 \leq H < 360$$

$$H = H - 120^\circ$$

$$R = I(1 - S)$$

$$G = I \left[1 + \frac{S \cos H}{\cos(60^\circ - H)} \right]$$

$$B = 3I - (R + B)$$

$$H = H - 240^\circ$$

$$G = I(1 - S)$$

$$B = I \left[1 + \frac{S \cos H}{\cos(60^\circ - H)} \right]$$

$$R = 3I - (R + B)$$

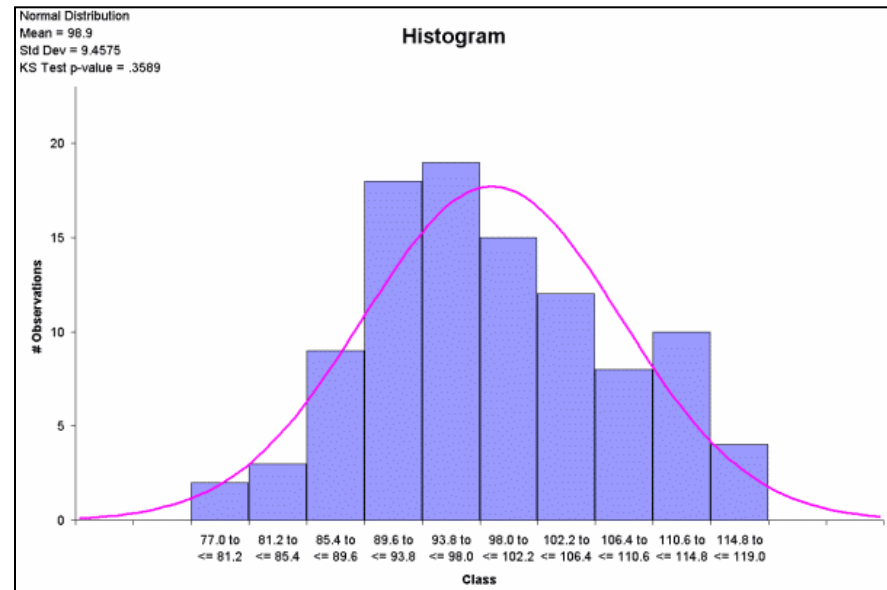
4. Histogramas

1. Formação de uma imagem
2. Representação digital de uma imagem
3. Cor
- 4. Histogramas**
 - a. Tipos de histograma
 - b. Utilidade
5. Ruído

Definição matemática

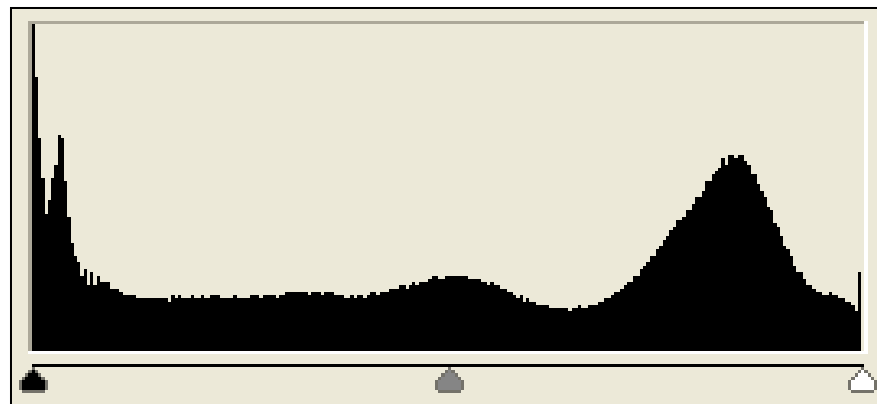
- Um *histograma* é uma representação da distribuição de frequências de um conjunto de medições.
- Tipicamente representa-se em forma de um gráfico de barras:

- Cada contendor começa com o valor zero.
- Cada valor medido é atribuído a um *contendor* (*bin*).
- O valor deste contendor aumenta em uma unidade.



Histograma de uma imagem

- Distribuição acumulativa da cor e/ou luminosidade de uma imagem.
- Tipicamente:
 - Número reduzido de *bins*.
 - Normalização.
- Caracteriza a distribuição de amplitude do sinal
 - Nenhuma informação acerca da sua distribuição espacial!

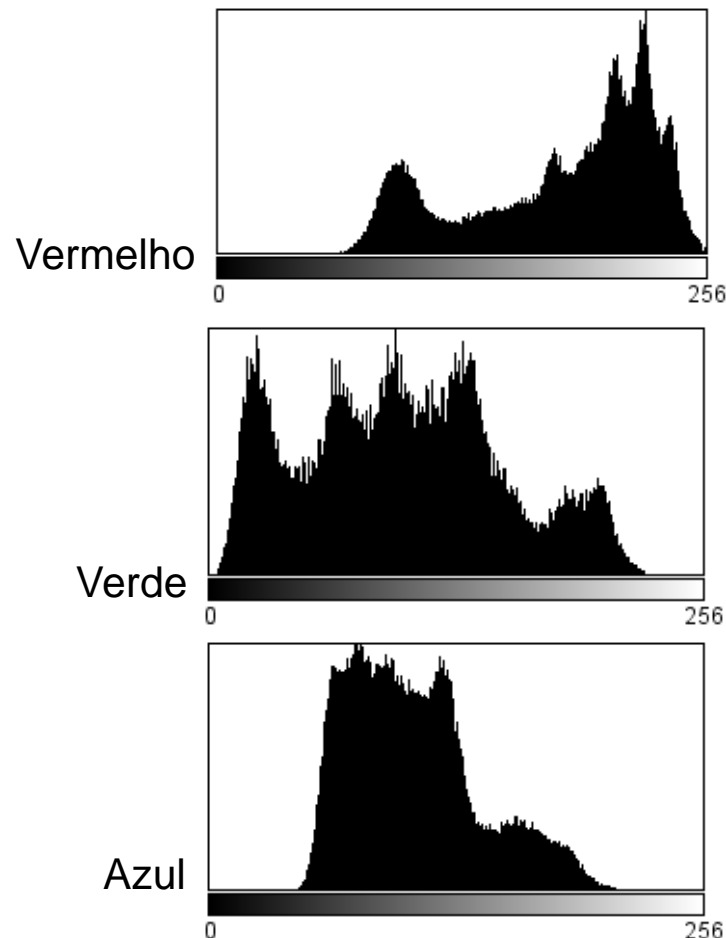


Histograma de uma imagem a cores

- Neste caso teremos tantos histogramas como eixos no espaço de cores.

Ex: Espaço RGB:

- Hist. Cor Azul
- Hist. Cor Verde
- Hist. Cor Vermelha

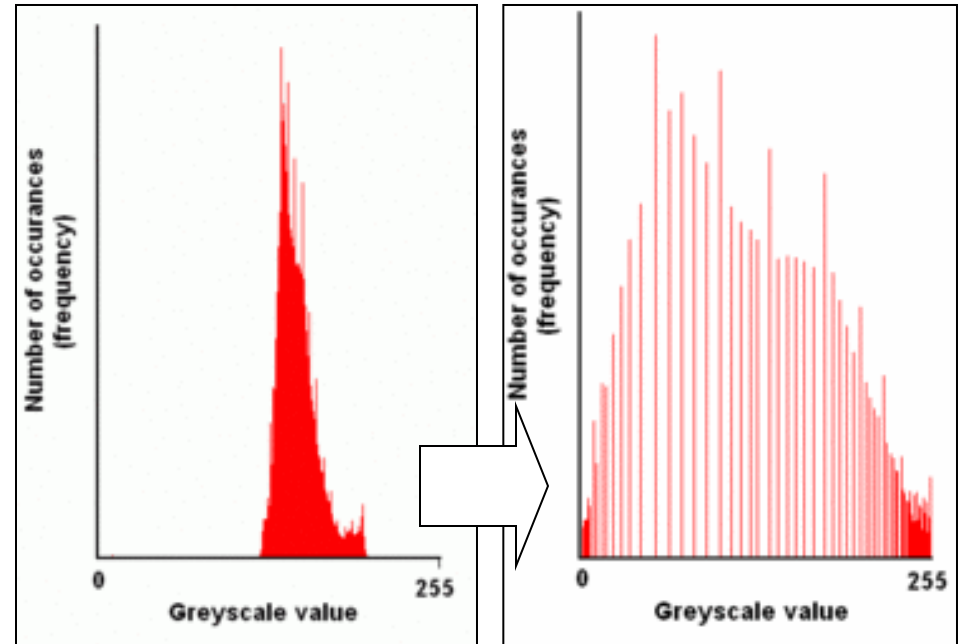


Outros histogramas

- Veremos mais tarde que histogramas são úteis para representar vários tipos de informação.
 - Reconhecimento de padrões!
- Posso representar:
 - Cores
 - Textura
 - Linhas
 - Etc...

Exemplo: Equalização de histograma

- Tenta melhorar a eficiência de utilização do espaço de amplitudes
 - Histograma plano
- Sinal digital:
 - Histograma 'quase' plano
- Melhora contraste
- Pode criar cores irrealistas!



$$f(a) = 255.P(a)$$

Equalização de histograma - Exemplo



5. Ruído

1. Formação de uma imagem
2. Representação digital de uma imagem
3. Cor
4. Histogramas
- 5. Ruído**
 - a. Ruído em imagem
 - b. Tipos e modelos

Ruído em imagem

- As imagens são tipicamente degradadas por ruído.
 - Percepção visual determina a importância deste!
- Vários processos contribuem para este ruído:
 - Captura
 - Transmissão
 - Processamento

O ruído em imagem tipicamente considera-se aditivo

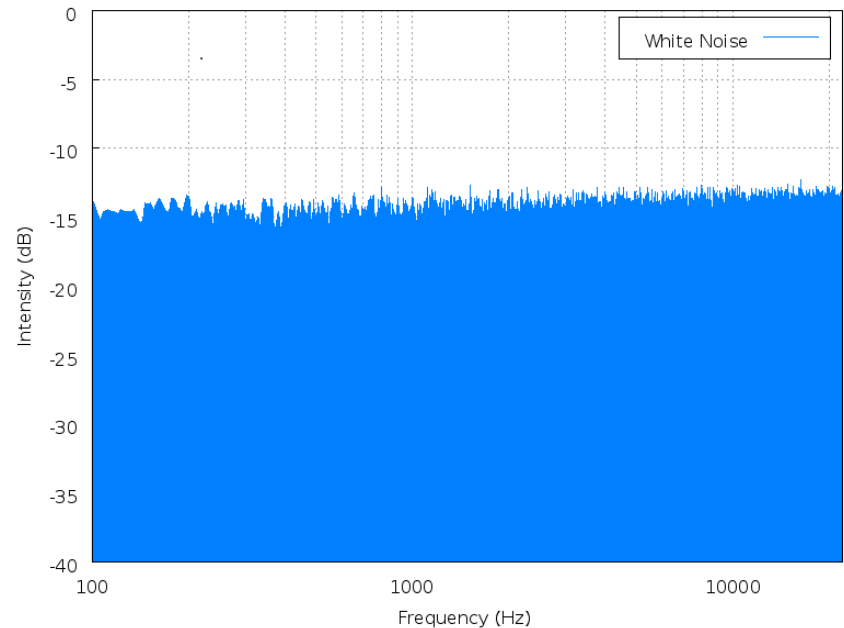
$$f(x, y) = g(x, y) + \nu(x, y),$$

Fontes de ruído em imagem

- Fontes de ruído ‘universais’:
 - Térmico, quantização/amostragem, medição.
- Concretizando para imagens digitais:
 - O número de fótons que atinge cada sensor é governado por leis quânticas: *Photon Noise*.
 - Ruído gerado pelos vários componentes electrónicos dos sensores:
 - *On-Chip Noise, KTC Noise, Amplifier Noise, etc.*

Ruído Branco

- **Espectro plano**
 - Possui a mesma energia em todas as frequências.
- **Artifício matemático**
 - Potência infinita.
 - Aproximação pobre da realidade.



Ruído Gaussiano

- Densidade de probabilidade Gaussiana.
- Boa aproximação da realidade.
 - Modela a soma de várias pequenas fontes de ruído, o que acontece na realidade.



Ruído *Sal e Pimenta*

- Consiste em considerar que um valor pode aleatoriamente mudar para 0 ou para o máximo.
 - Acontece na realidade devido à avaria ou mau funcionamento de alguns dos sensores digitais da grelha de imagem.



Resumo

- Sistemas de captura de imagem.
- Digitalização de uma imagem.
- Imagens no espaço de frequências.
- Representação da cor.
- Histogramas de cor.
- Fontes de ruído em imagem.