

---

# 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

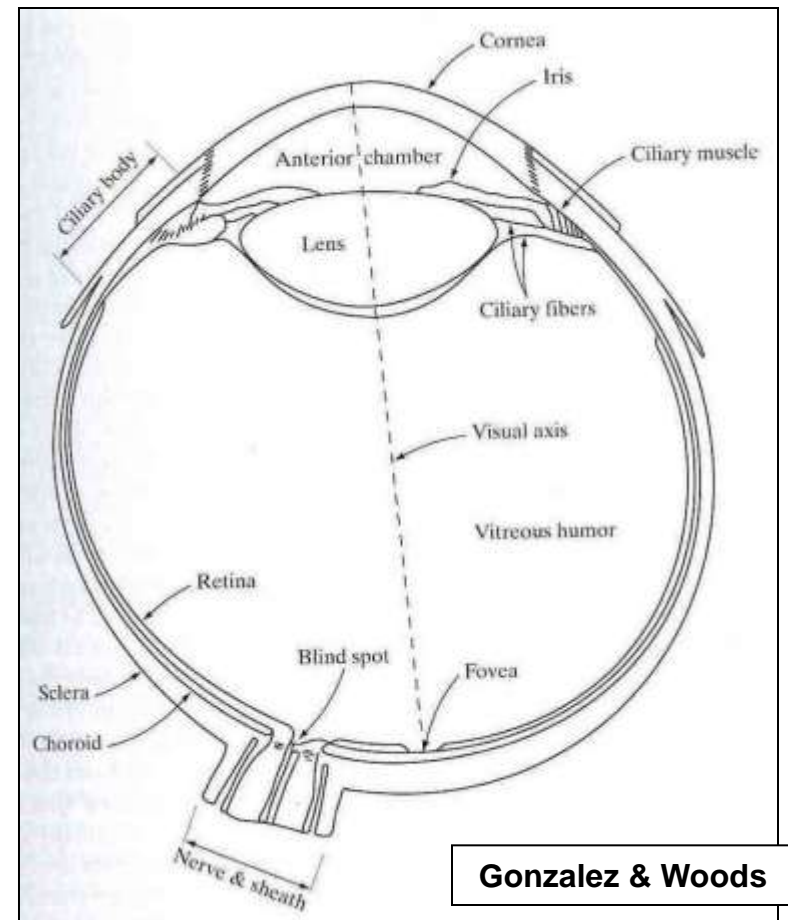
4. Histogramas

5. Ruído

# Sistema visual humano

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

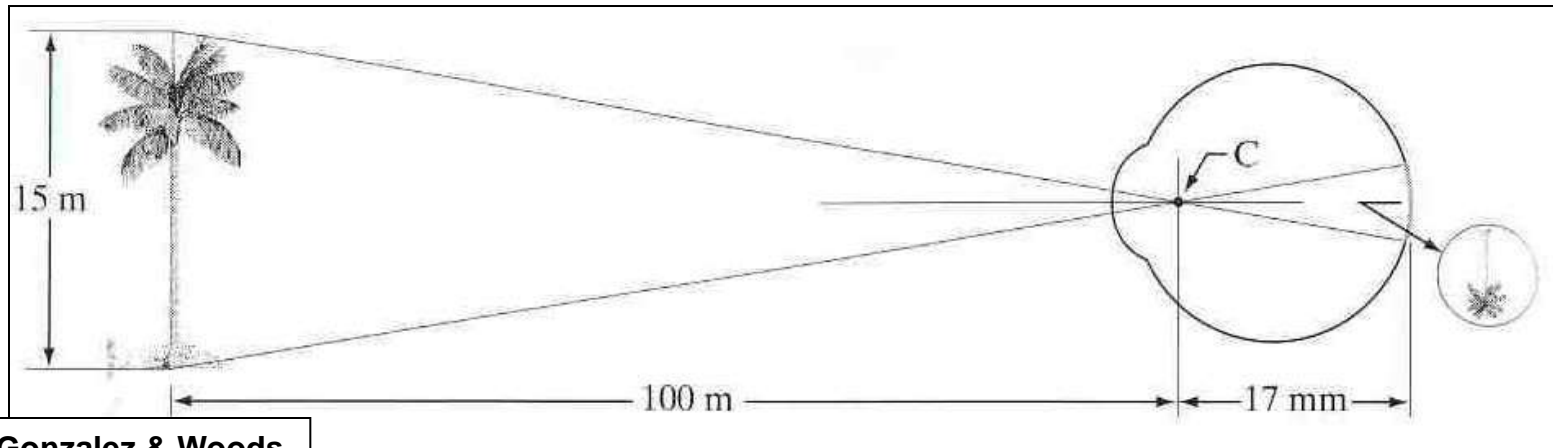
A grande complexidade do nosso sistema de visão reside aqui!



# Formação de uma imagem

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

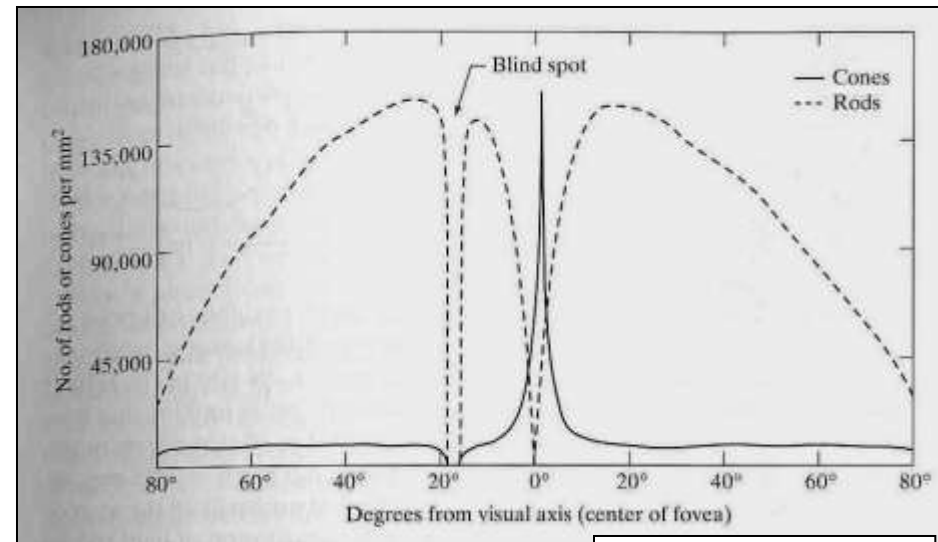
Ilusões ópticas!  
Podemos ver  
coisas que não  
existem!



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!)

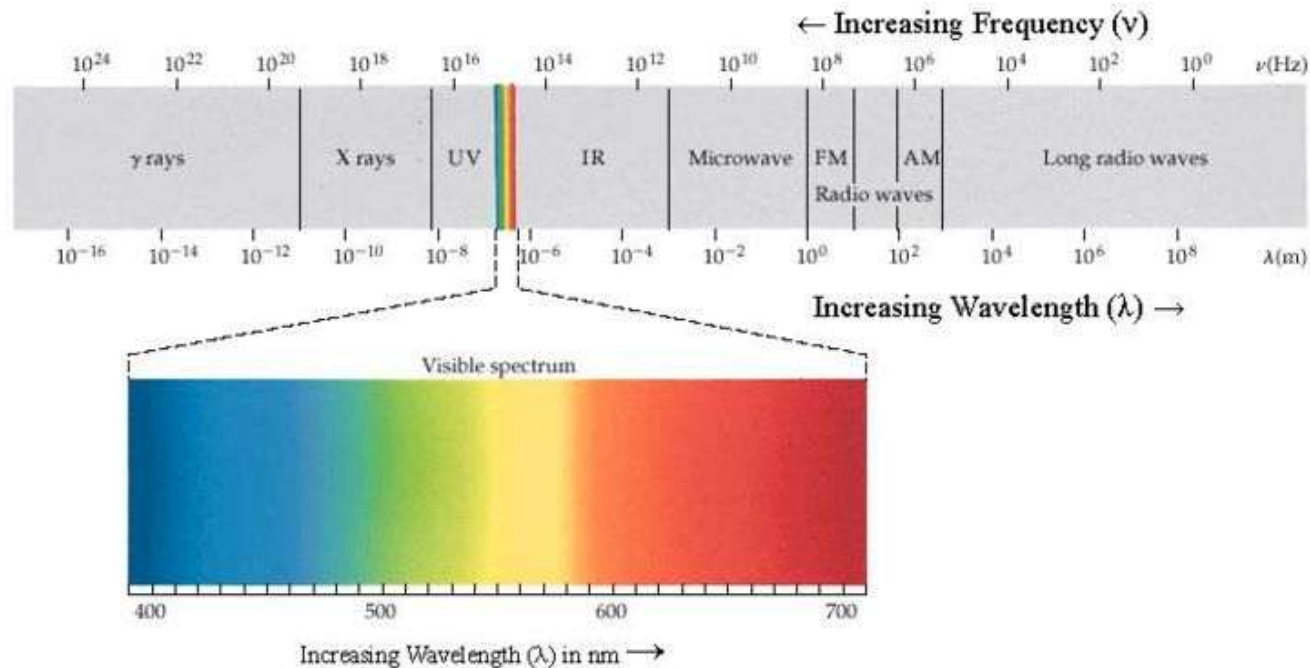
- A gama de frequências às quais o sistema óptico humano é sensível.

- Comprimentos de onda: 400 – 700nm.



# Outros tipos de luz

- Raios X, ultravioletas, infravermelhos, etc.





# Imagem médica

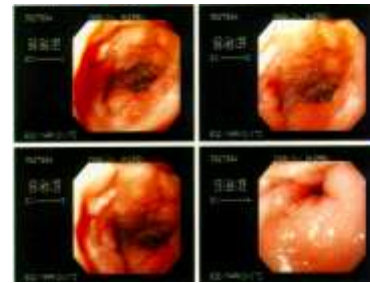
- Não usa necessariamente luz visível.

- Luz visível

- Endoscopia, etc.

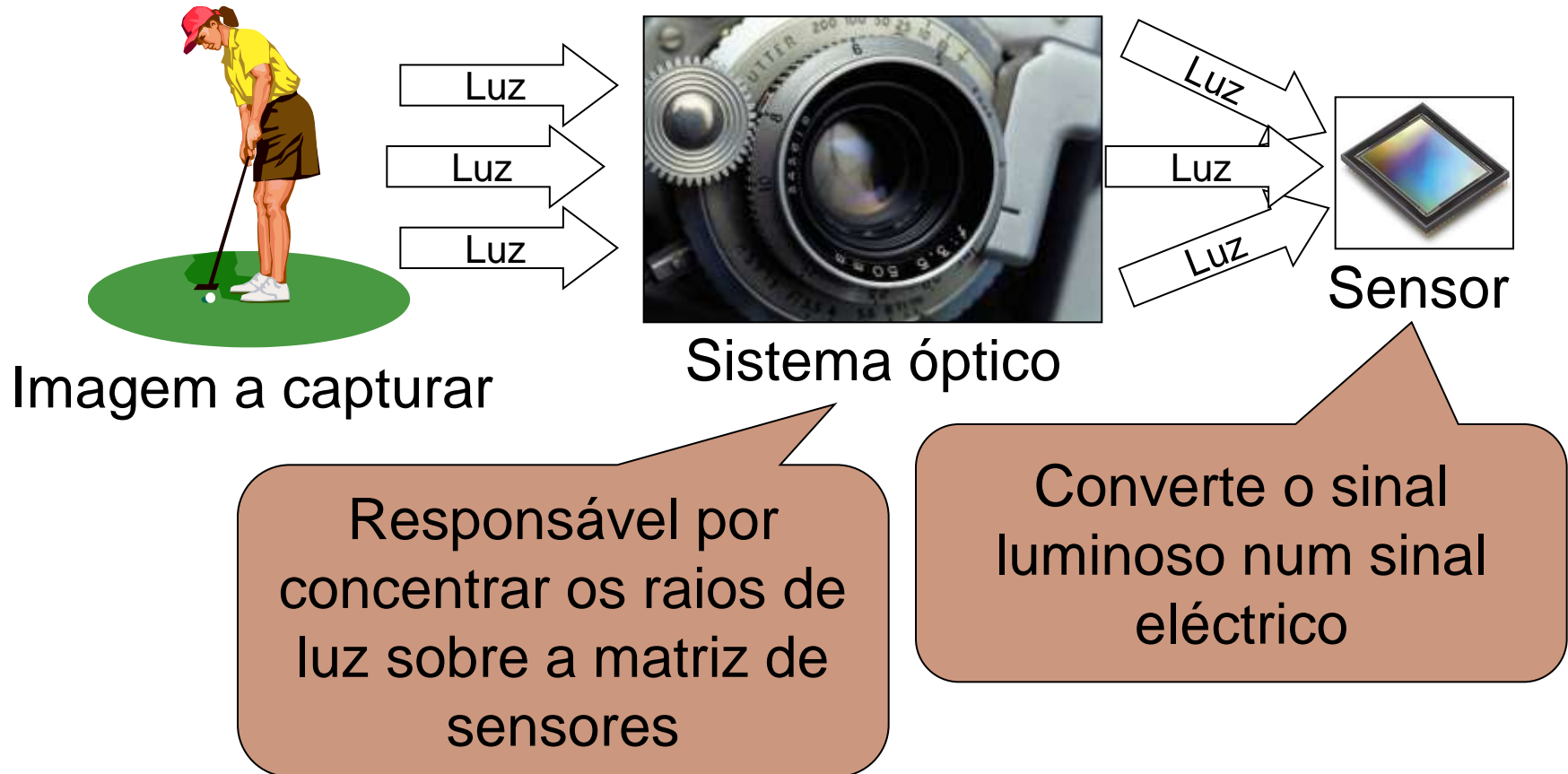
- Luz invisível

- Radiografia, Tomografia, etc.



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

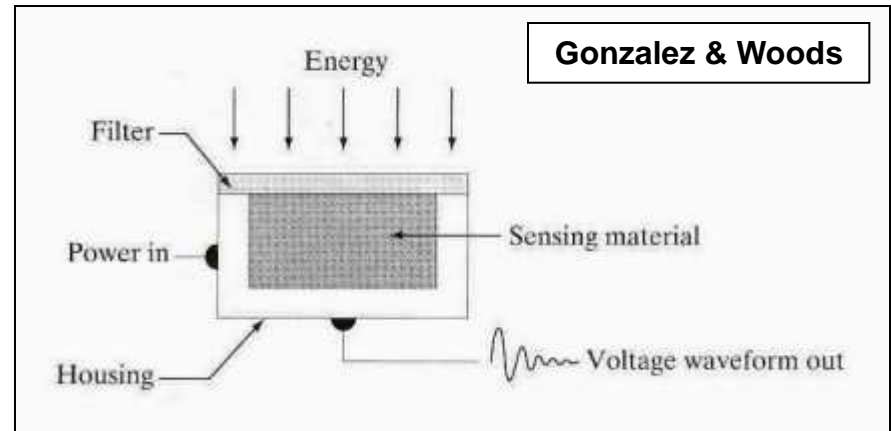
# Sistema de captura de imagem



# Sensor digital

- Como 'vê' uma câmara digital?

- Sistema óptico
- Sensores digitais
  - CCD
  - CMOS

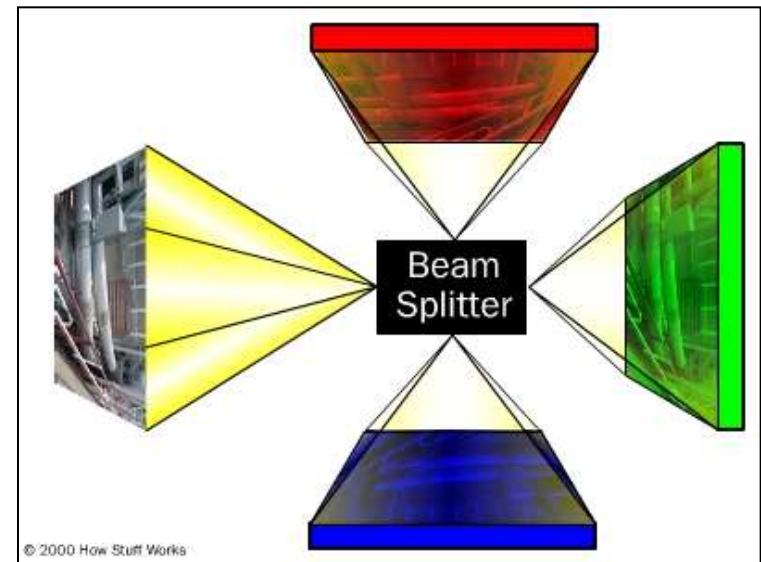
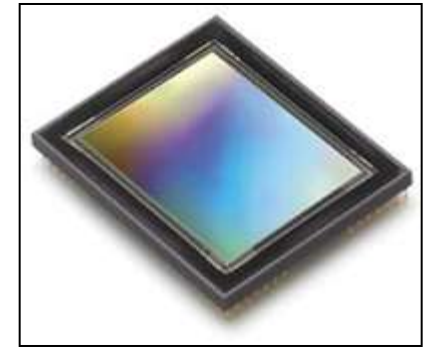
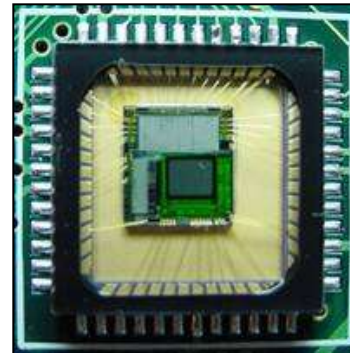


- Imagem digital

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

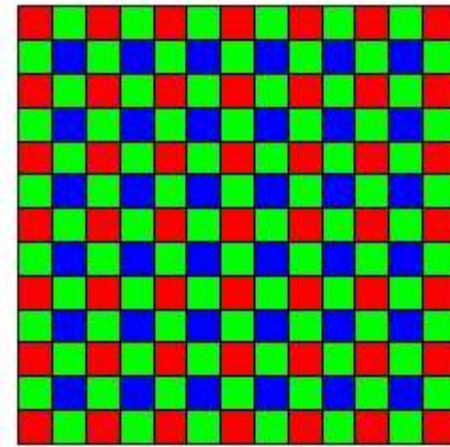
# Captura da cor

- **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

---

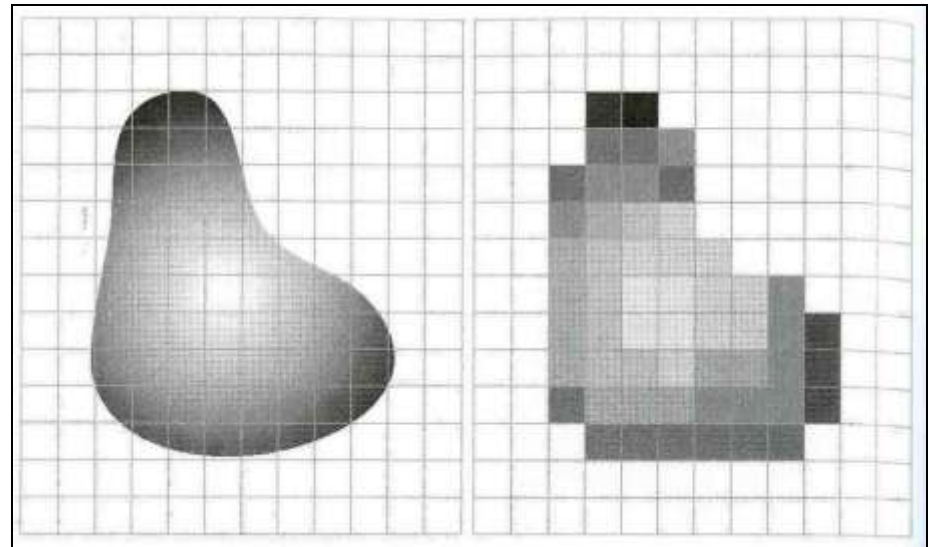
# 2. Representação digital de uma imagem

---

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!

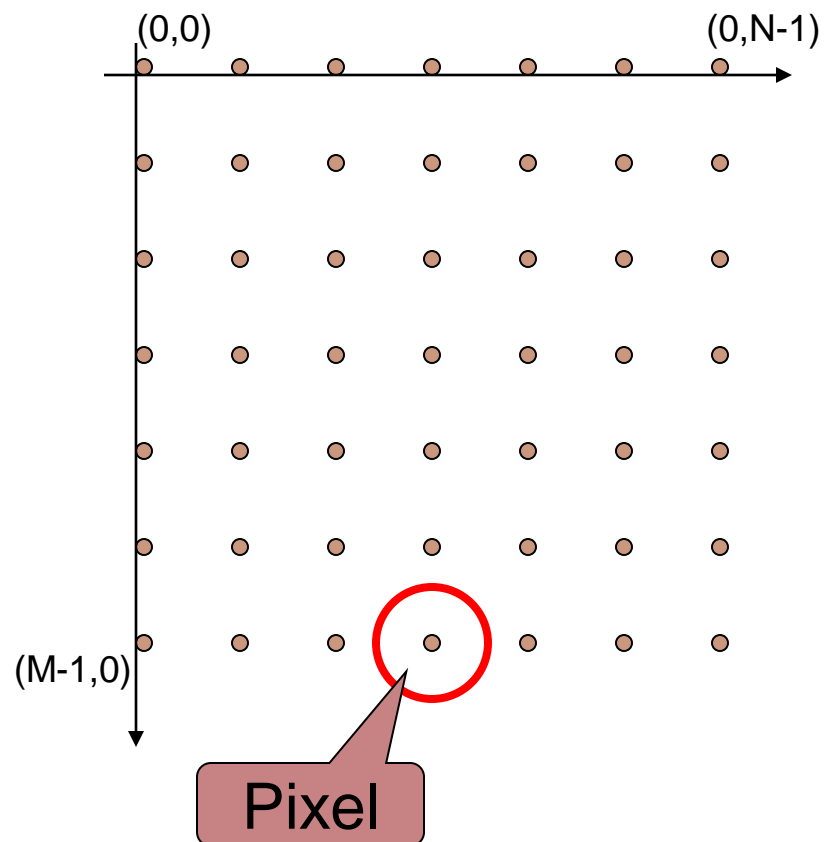


Conversão Analógica-Digital (AD)

# Representação matemática

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

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





# Resolução espacial

- **Resolução espacial:**  
**M x 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

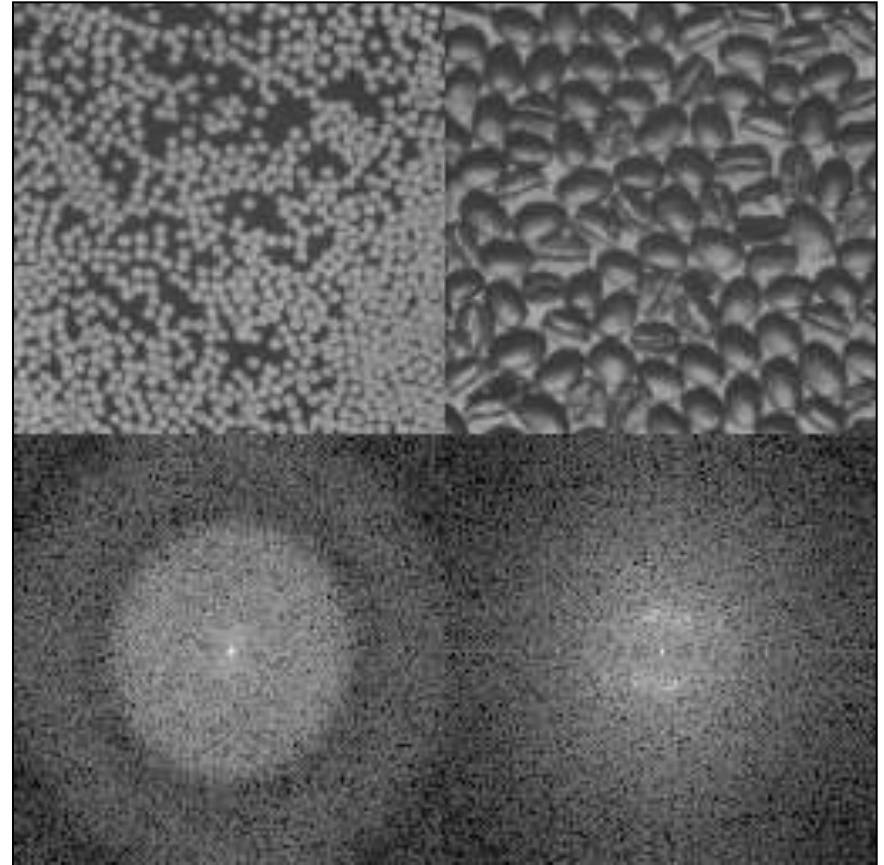


---

# Espaço de frequências

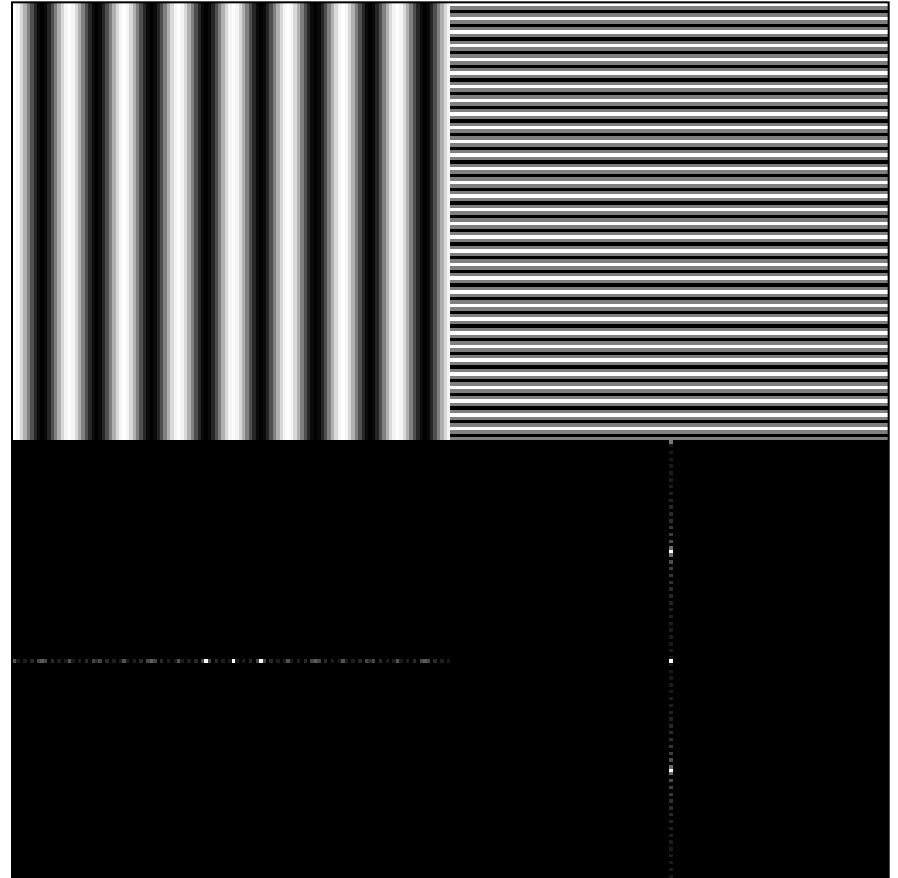
---

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



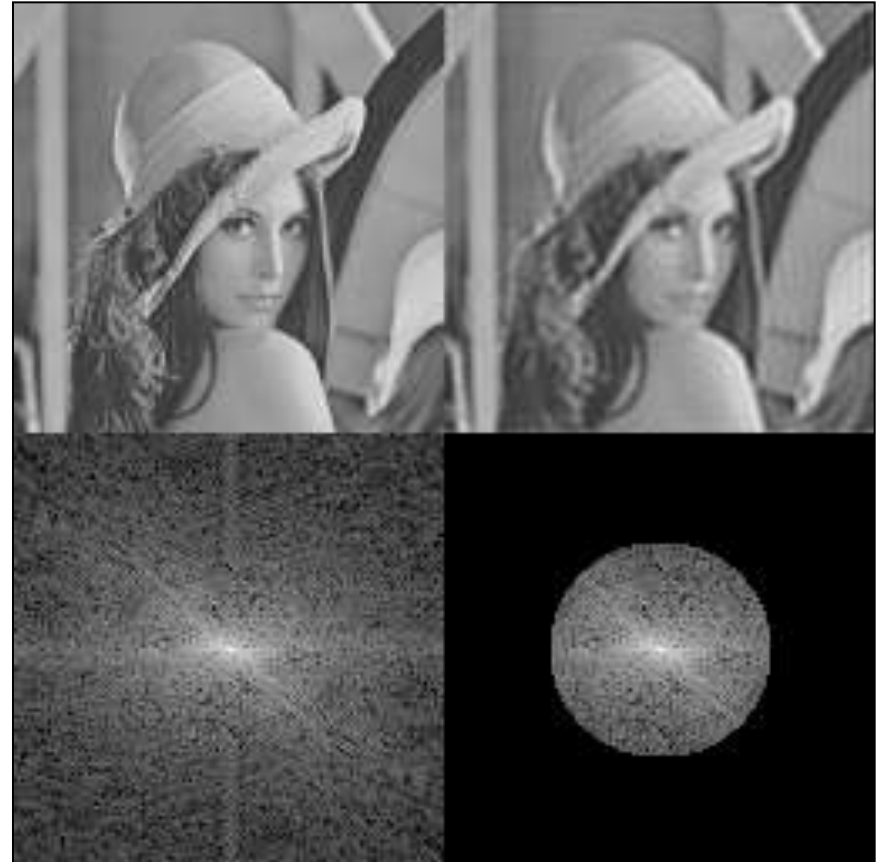
# Frequências horizontais e verticais

- **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?



---

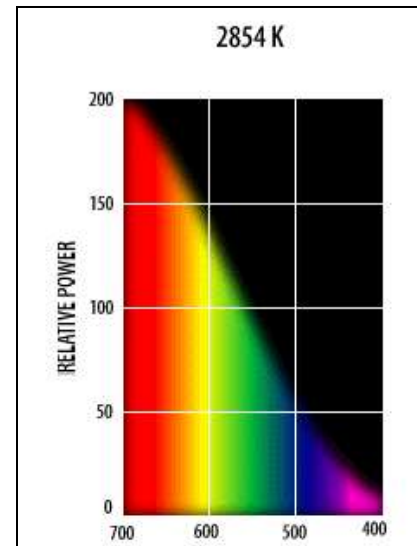
# 3. Cor

---

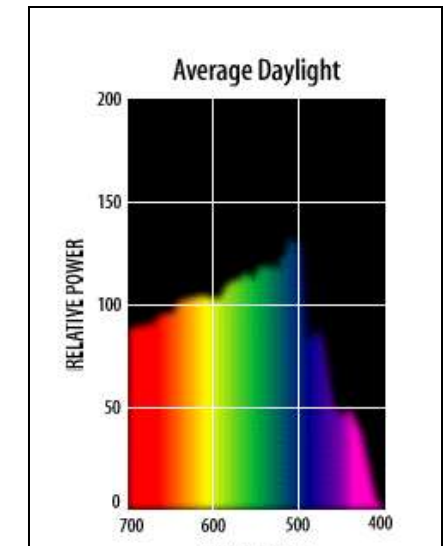
1. Formação de uma imagem
2. Representação digital de uma imagem
- 3. Cor**
  - a. Definição de cor
  - b. Espectro visível
  - c. Espaços de cor
4. Histogramas
5. Ruído

# 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

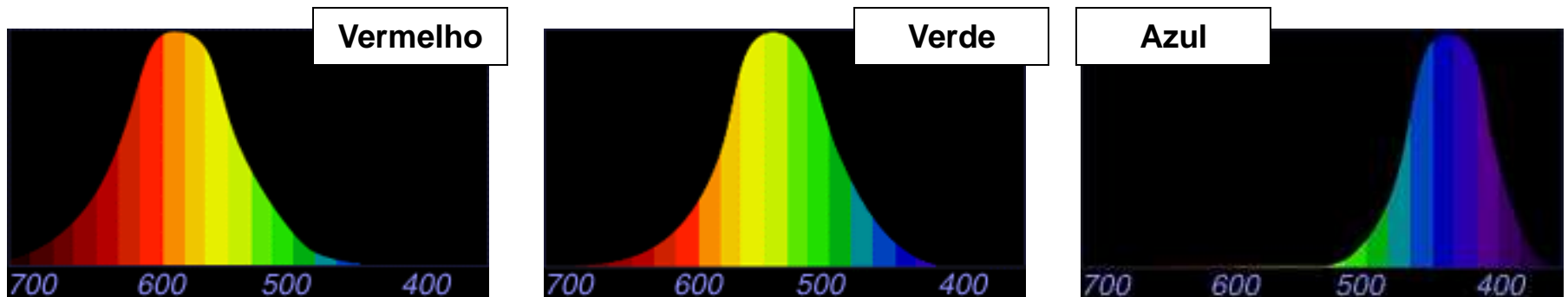


Luz do Sol

# Como vemos nós a cor?

- Cones

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

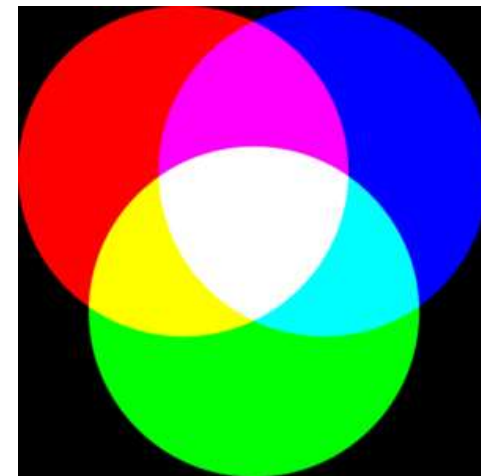
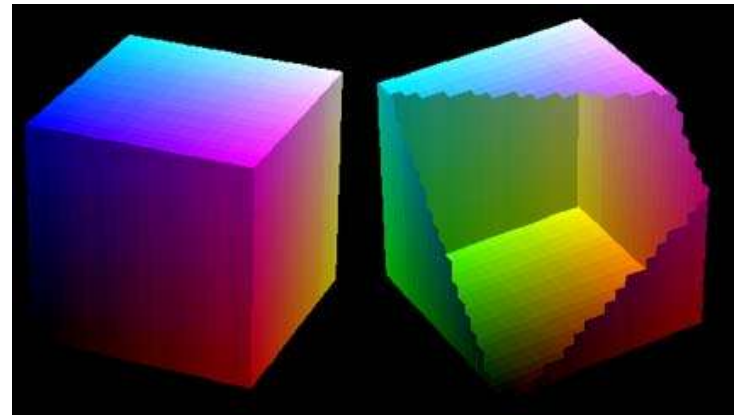


Torna-se natural modelar as imagens digitais usando três planos de cor!



# O modelo RGB

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

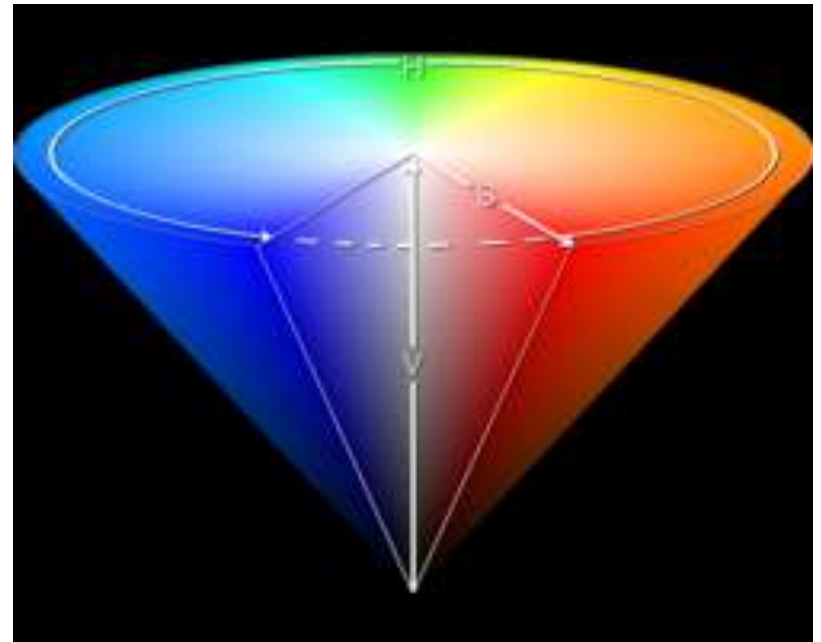


Adequado às tecnologias de projecção de imagem.

# O modelo HSV

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

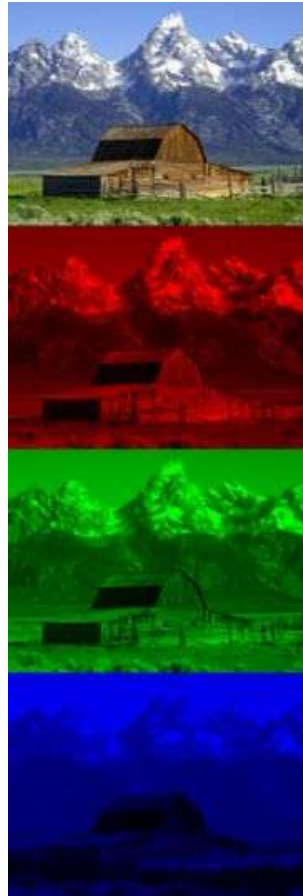
Adequado para  
processamento de  
imagem!



# Exemplo de vários espaços de cor

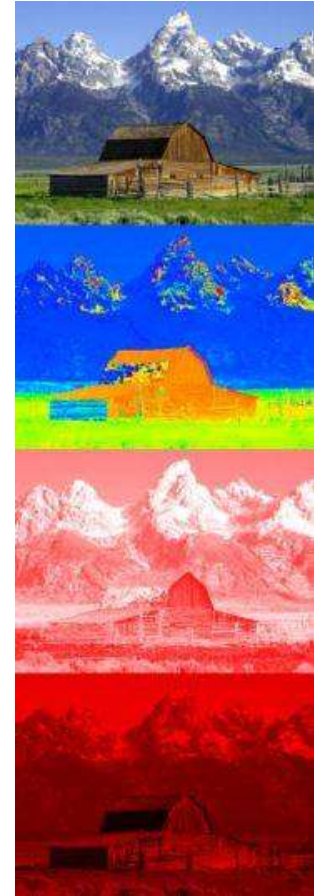
- **RGB**

- R
- G
- B



- **HSV**

- H
- S
- V



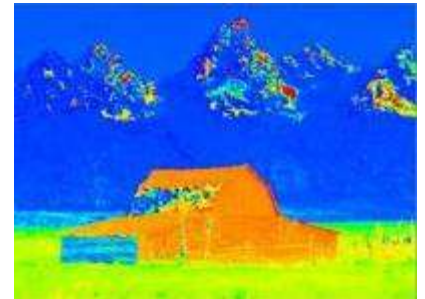
# RGB para HSI

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

$$120 \leq H < 240$$

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

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

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

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

$$0 \leq H < 120$$

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

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

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

$$240 \leq H < 360$$

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

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

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

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

---

# 4. Histogramas

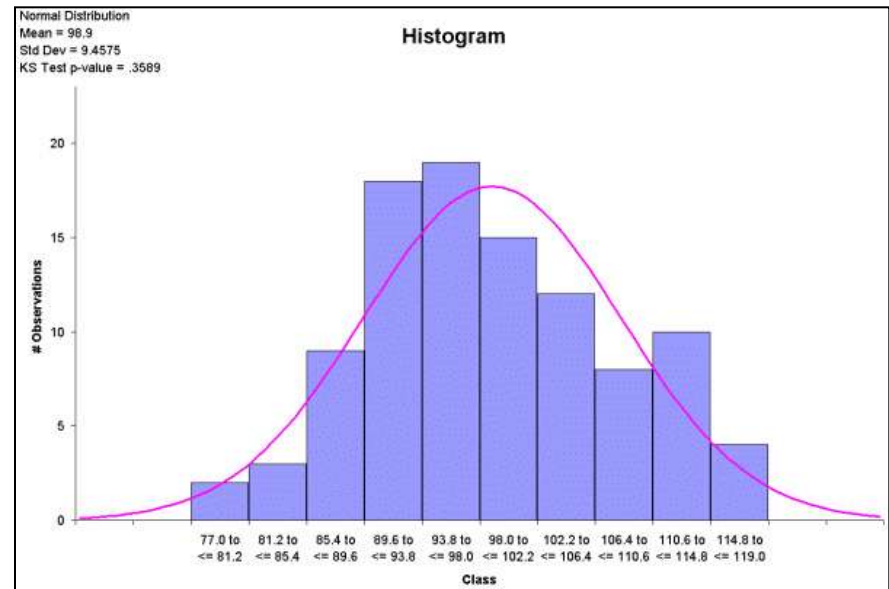
---

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

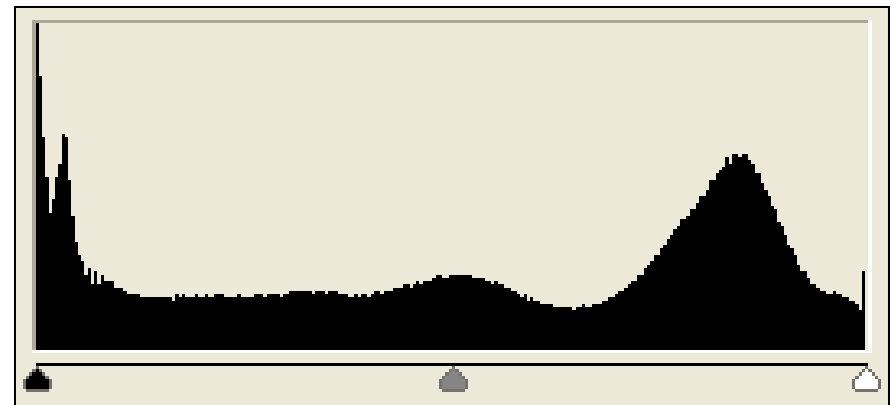
- Um *histograma* é uma representação da distribuição de frequências de um conjunto de medições.
- Tipicamente representa-se em forma de um gráfico de barras:

- 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!



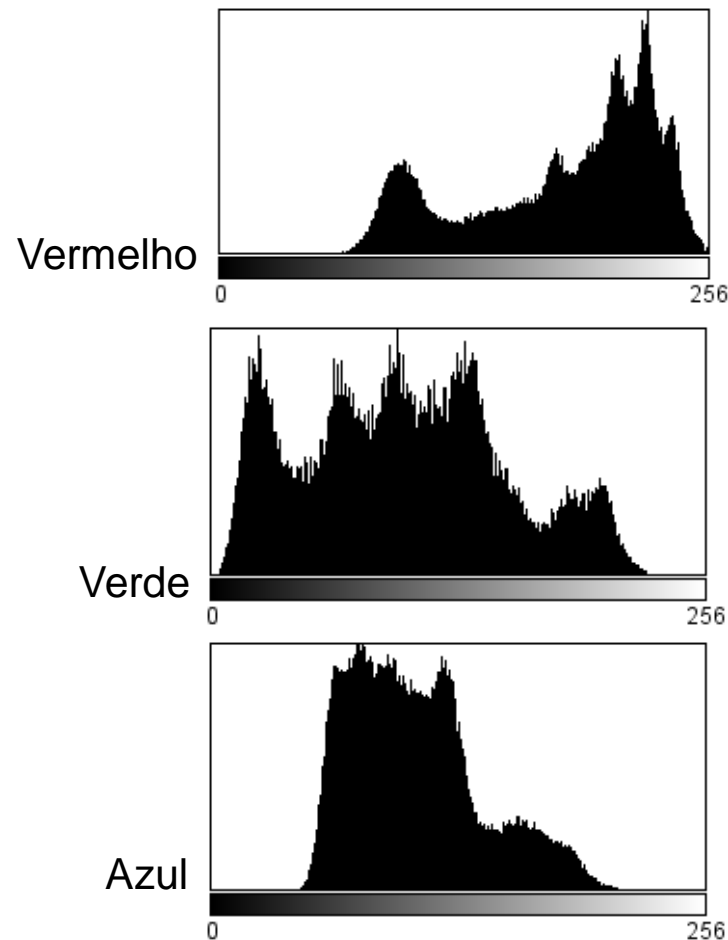


# Histograma de uma imagem a cores

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

Ex: Espaço RGB:

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



---

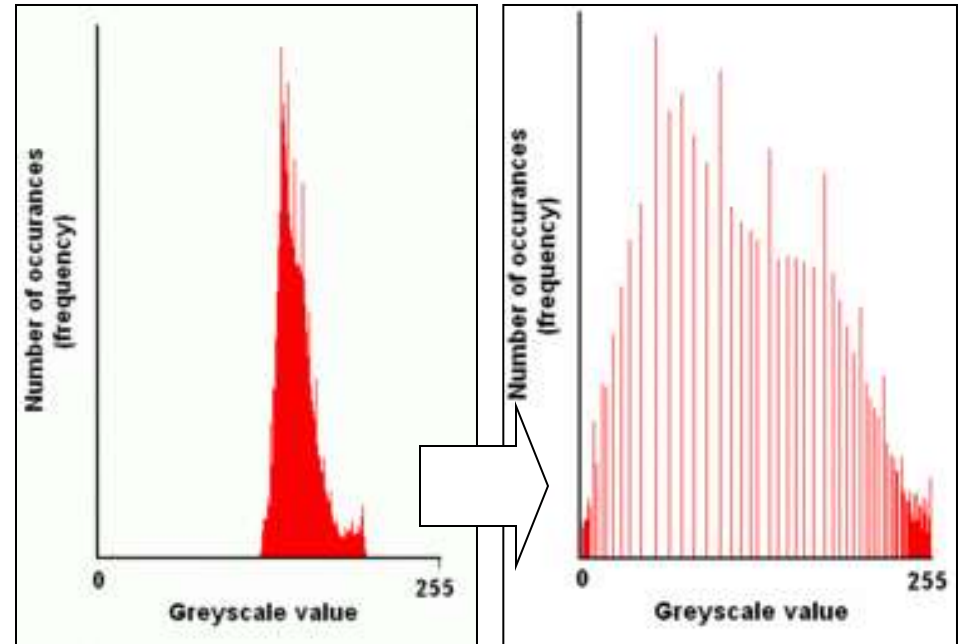
# Outros histogramas

---

- 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

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

---

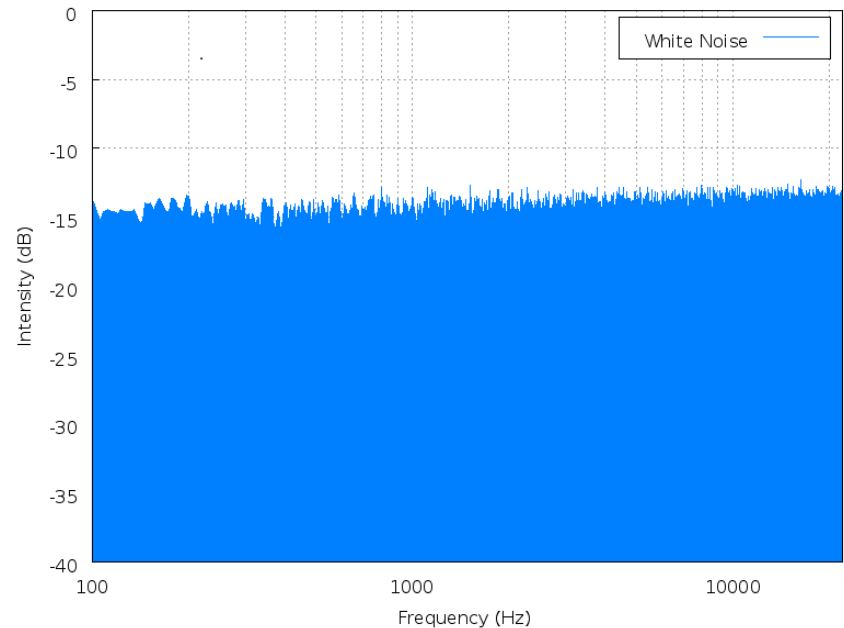
# Fontes de ruído em imagem

---

- 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.