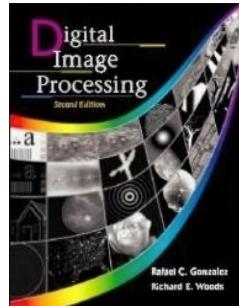


Digital Image Processing, 2nd ed.

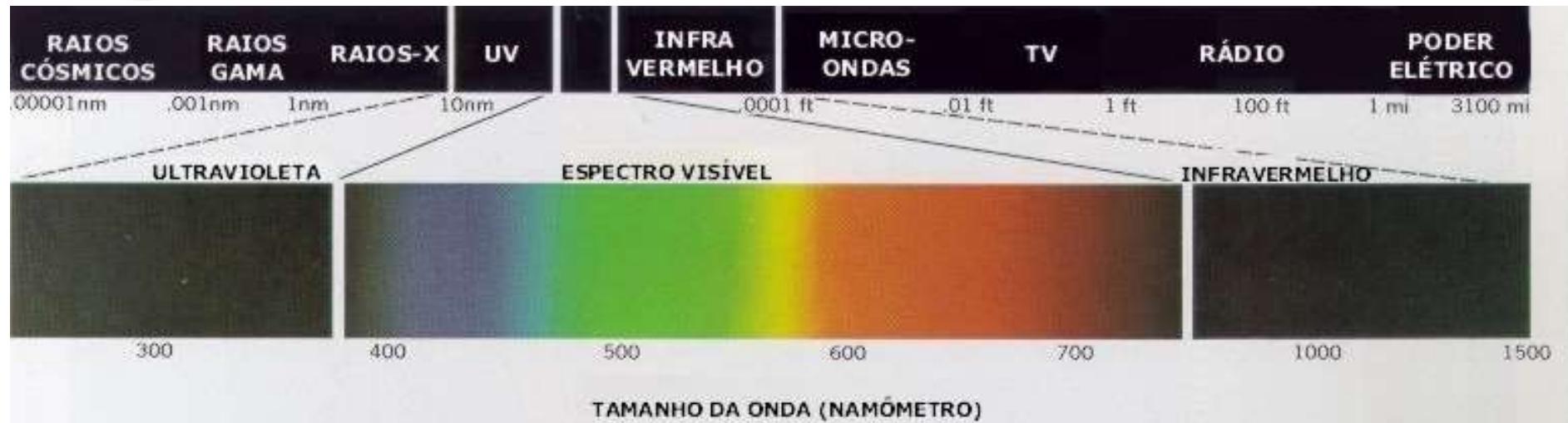
www.imageprocessingbook.com

Aula 2

Fundamentos de Imagens Digitais



- Luz: fenômeno físico - radiação eletromagnética
- Cor: depende da interação da luz com o sistema visual humano
- Fenômeno psicofisiológico (percepção)



$$c = \lambda v$$

v freqüência

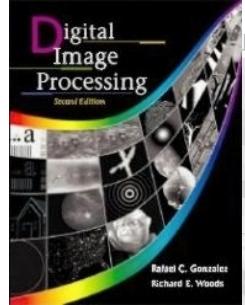
c velocidade de propagação da luz ($2,998 \cdot 10^8$ m/s)

λ Comprimento da onda

E Energia

H Constante de Planck

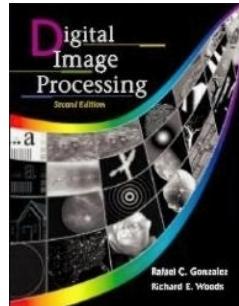
$$E = hv$$



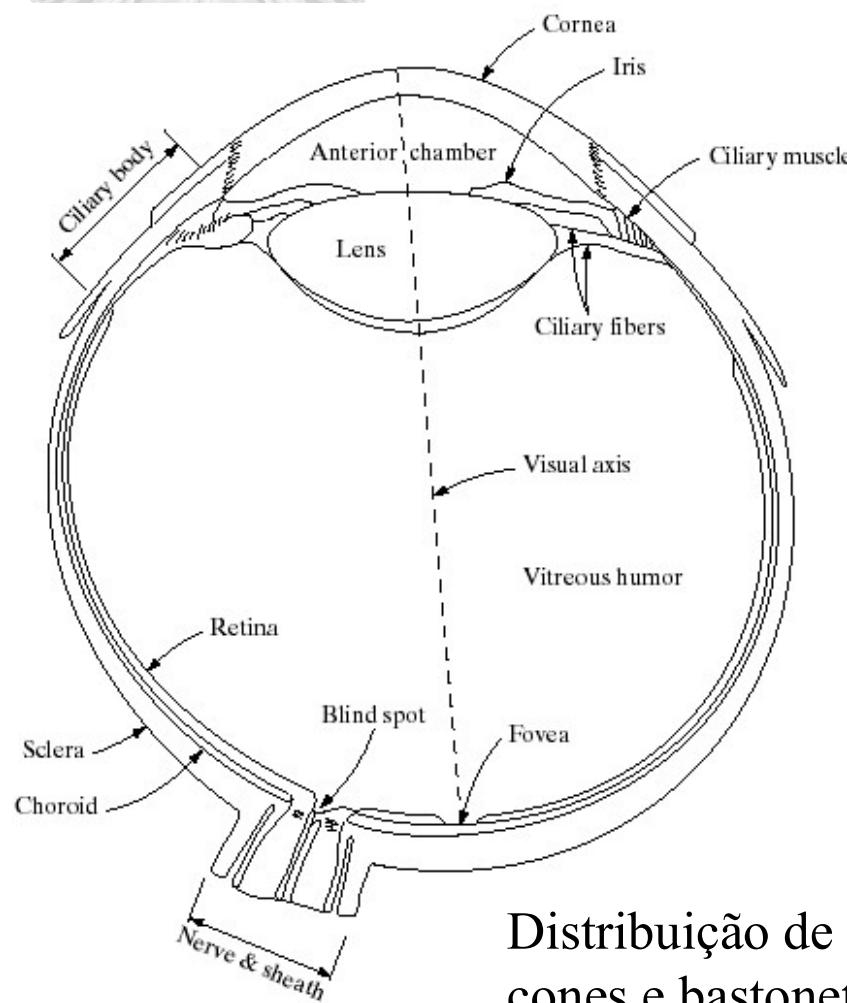
• Formação de imagens:

1. Energia é emitida por uma fonte;
2. Energia é refletida pelos objetos
3. Energia é captada pelo sensor.



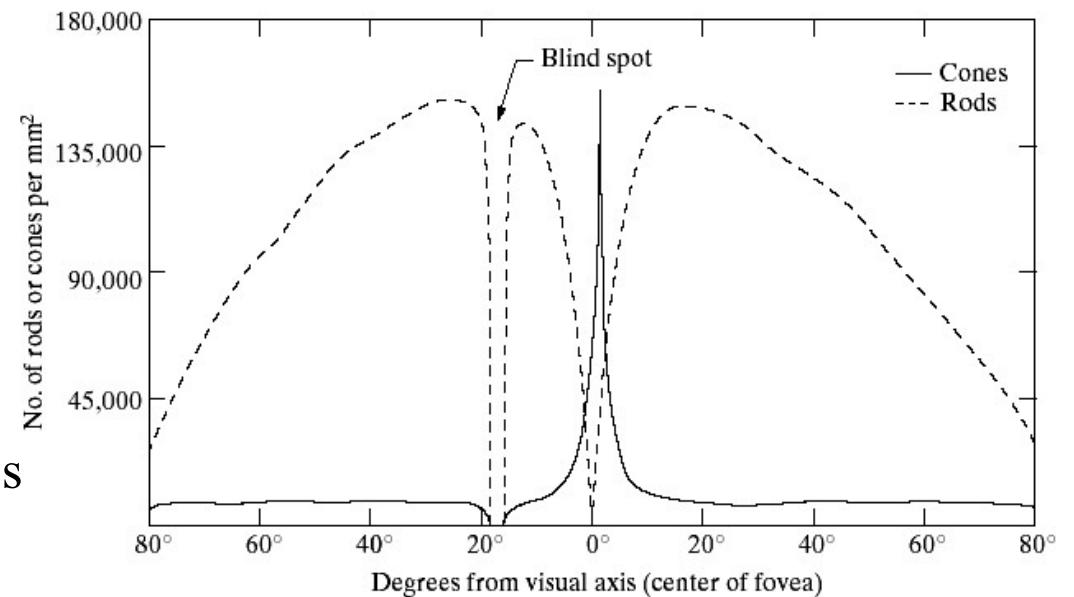
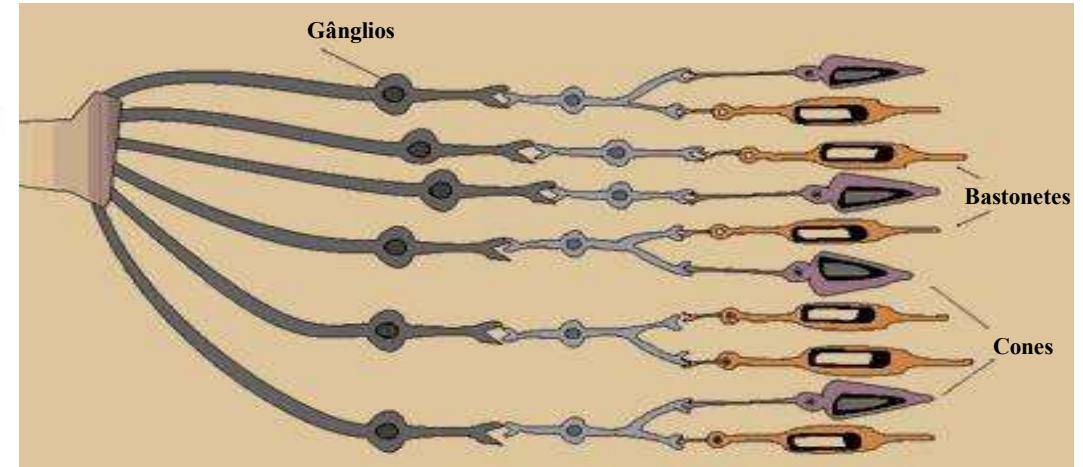


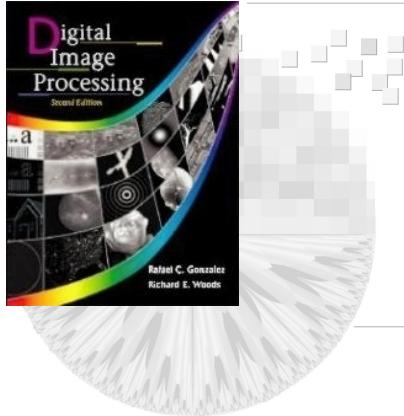
Olho humano – o nosso sensor de imagens



Distribuição de cones e bastonetes pela retina

75 a 150 milhões de bastonetes (luminosidade)
6 a 7 milhões de cones (cores)



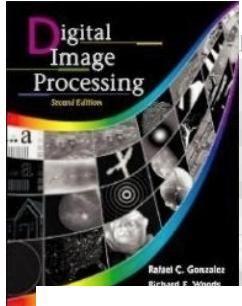


Olho humano – o nosso sensor de imagens

Cones são responsáveis pela recepção de cores na retina.

Divisão em três categorias básicas:

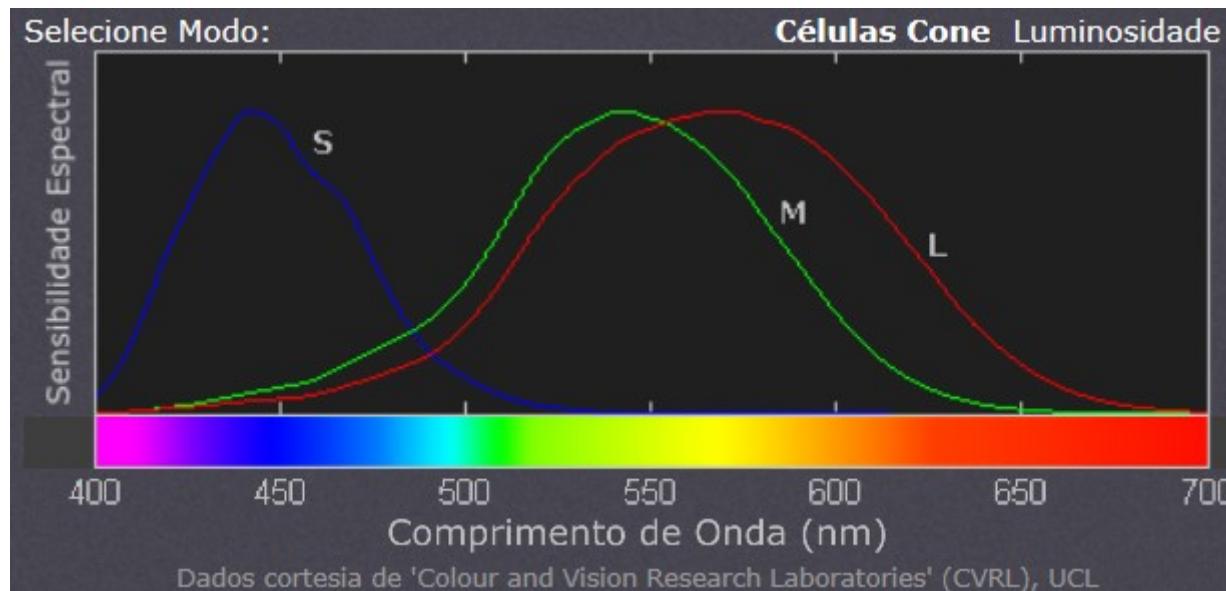
- 65% sensíveis à luz vermelha
- 33% sensíveis à luz verde
- 2% sensíveis à luz azul (mas cones azuis são os mais sensíveis)



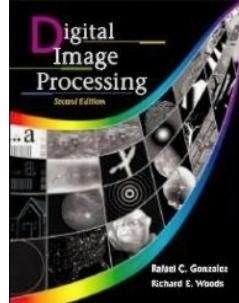
Olho humano – o nosso sensor de imagens

Existem três tipos de cones nos nossos olhos, especializados em comprimentos de luz curtos (S), médios (M) ou longos (L)

O conjunto de sinais possíveis dos três tipos de cones define a gama de cores que conseguimos ver



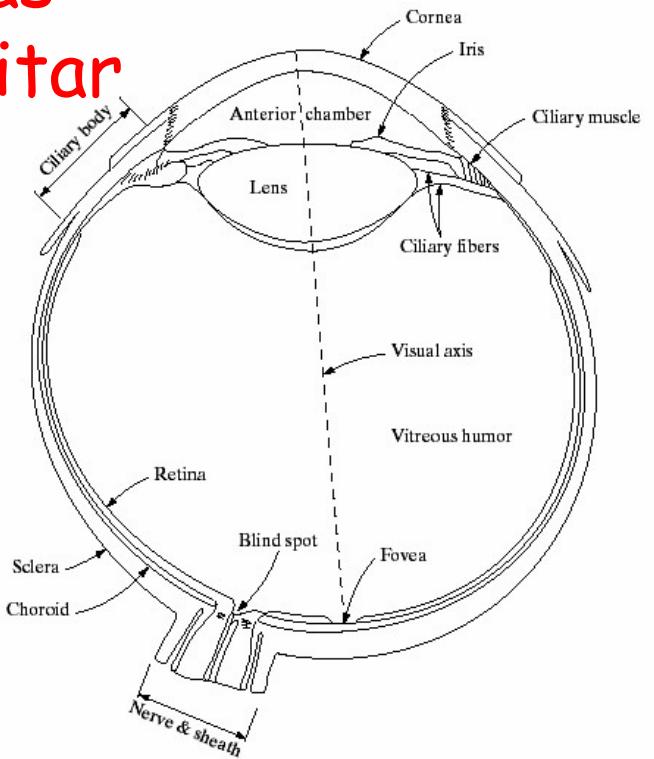
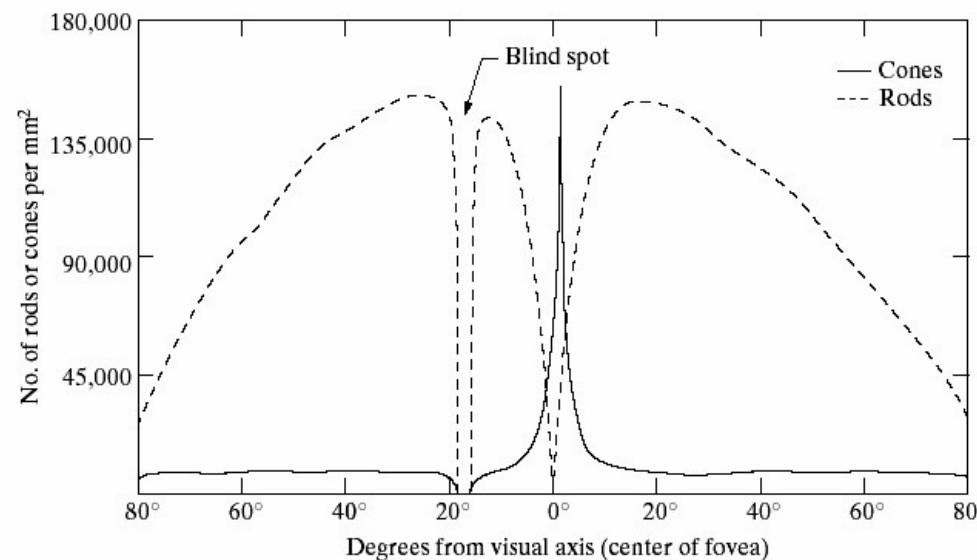
sensibilidade relativa de cada um dos tipos de células cone para todo o espectro de luz visível -- de ~400nm a 700 nm.

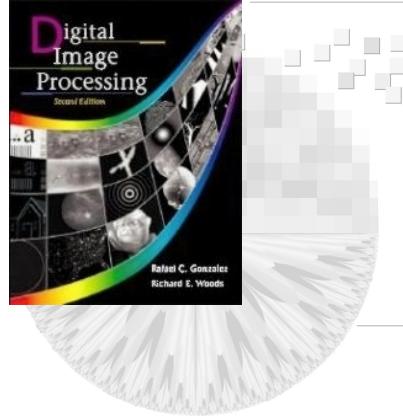


É importante saber como o olho funciona para atender suas necessidades e se aproveitar de suas limitações

Ex.

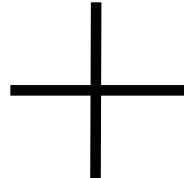
- o olho tem um ponto cego
- percepção
- ilusões de ótica
- etc.



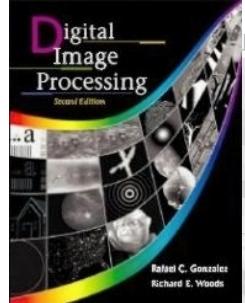


Digital Image Processing, 2nd ed.

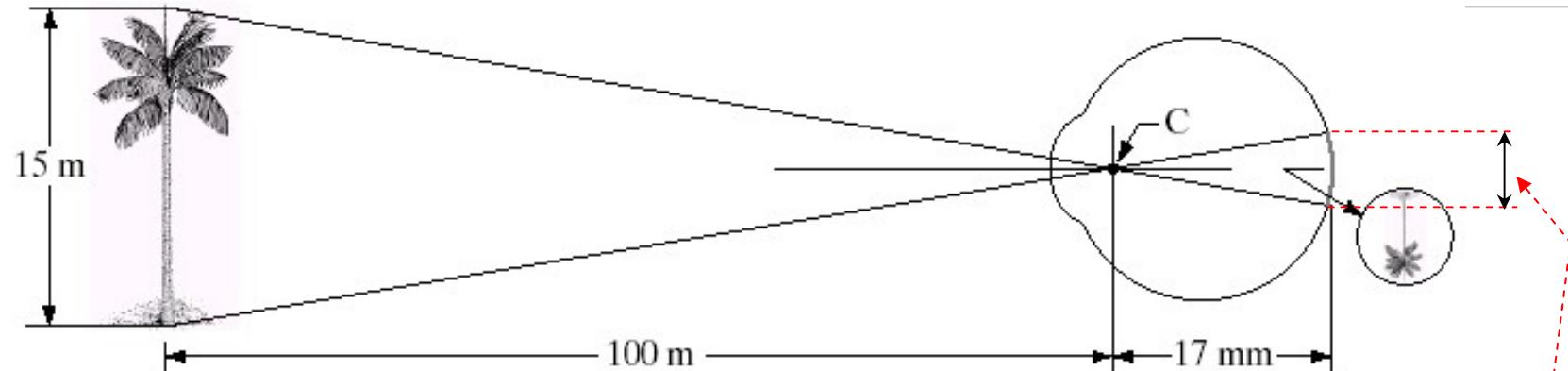
www.imageprocessingbook.com



**Feche o olho esquerdo, olhe com o direito para a cruz e vá se
afastando da imagem até que o ponto desaparece do campo visual**

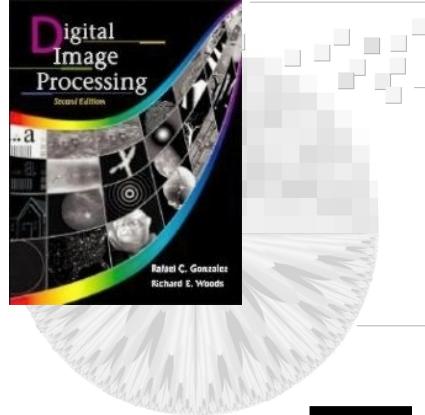


Formação da imagem no olho

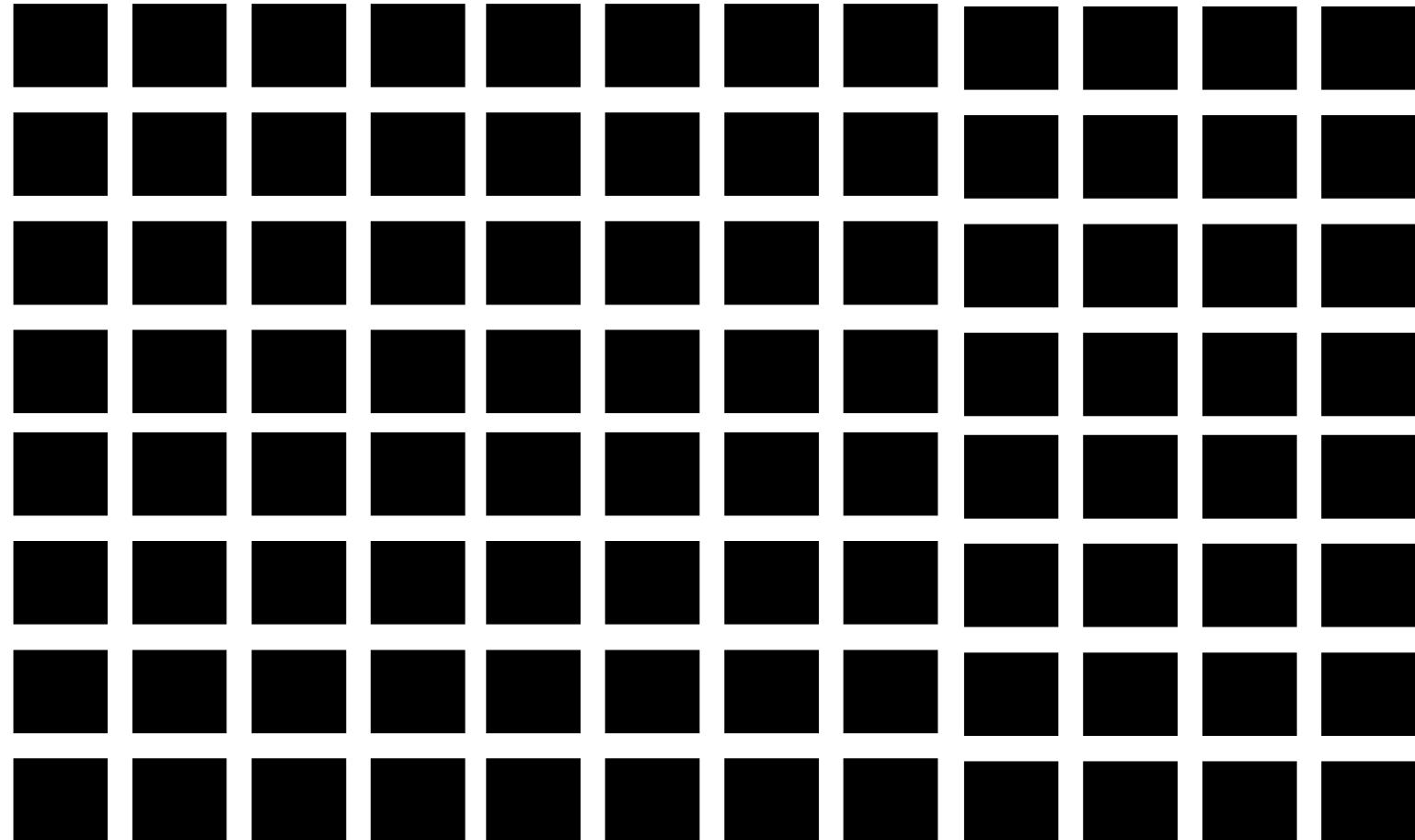


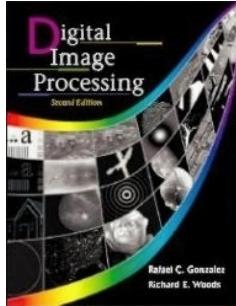
Um olho observando uma árvore
C é o centro ótico das lentes
(A imagem se forma invertida)

Observando a geometria, é possível medir o
tamanho da imagem formada na retina
 $15m / 100m = x / 17mm \rightarrow x = 2,55mm$

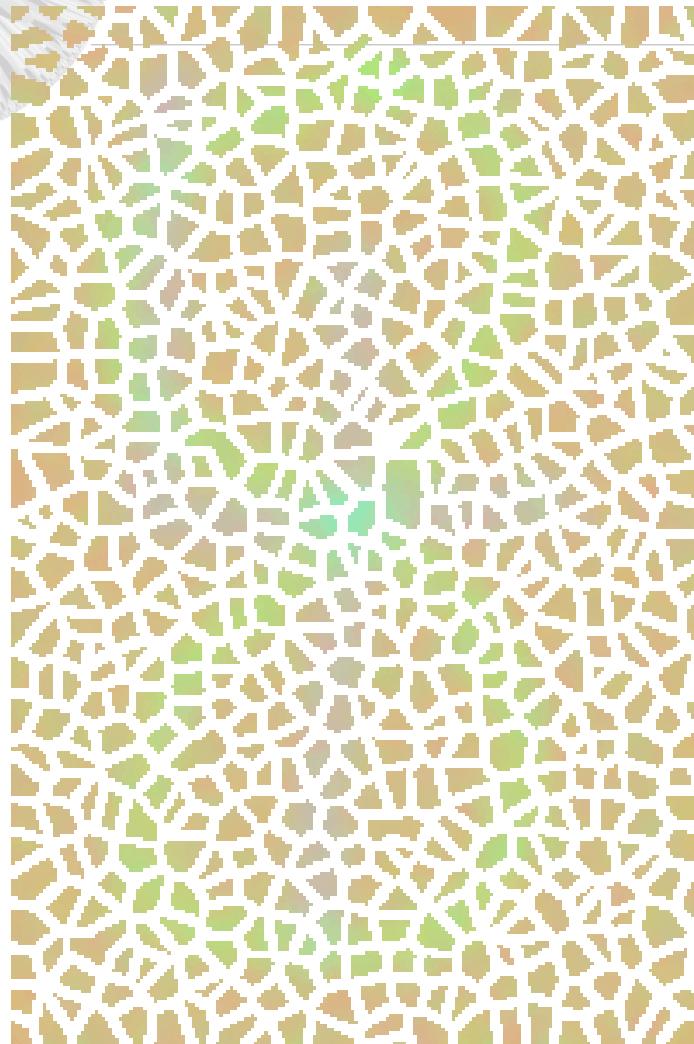


Grilde de Hermann

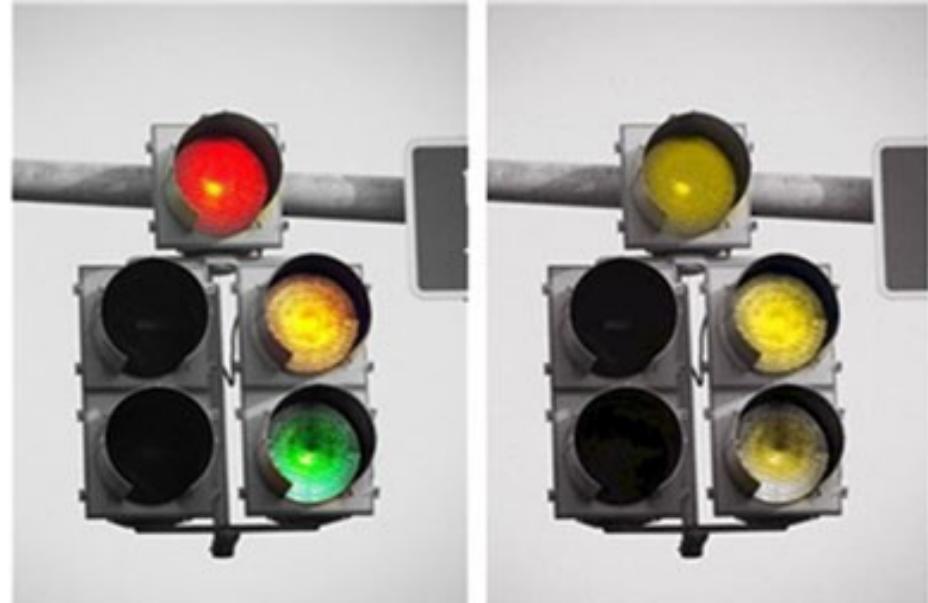




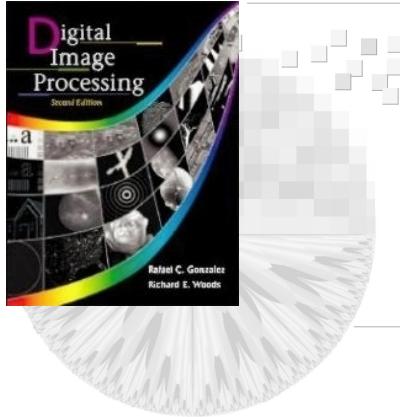
Daltonismo



Visão normal consegue ver o 8



Visão normal Visão Daltônica



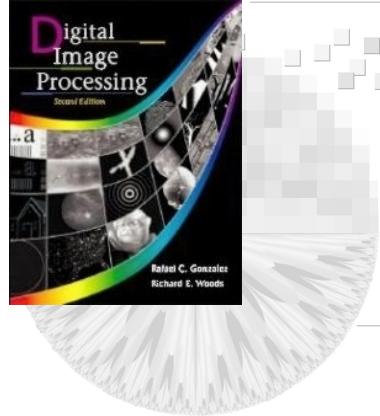
Daltonismo

Programadores precisam se atentar para o problema e, evitar ícones que são alterados apenas na cor

Fazendo também uma alteração do formato

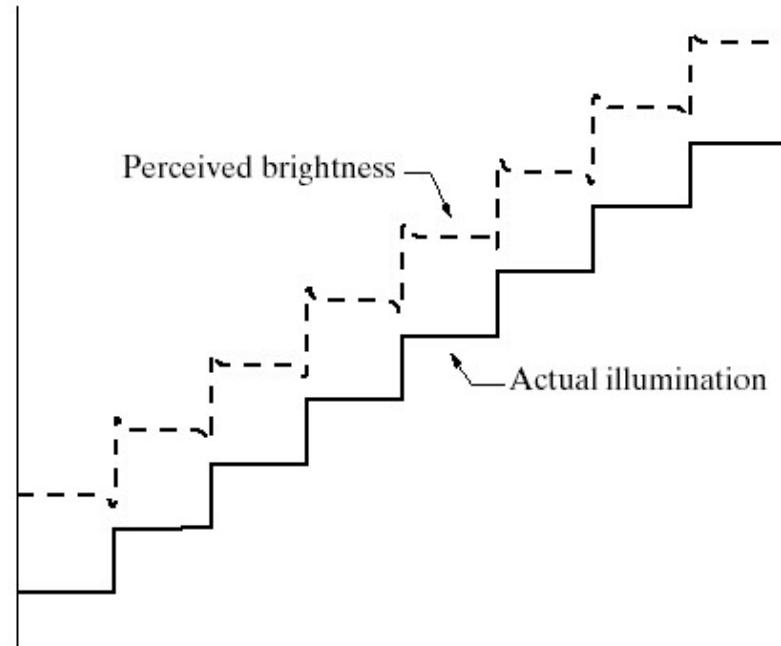
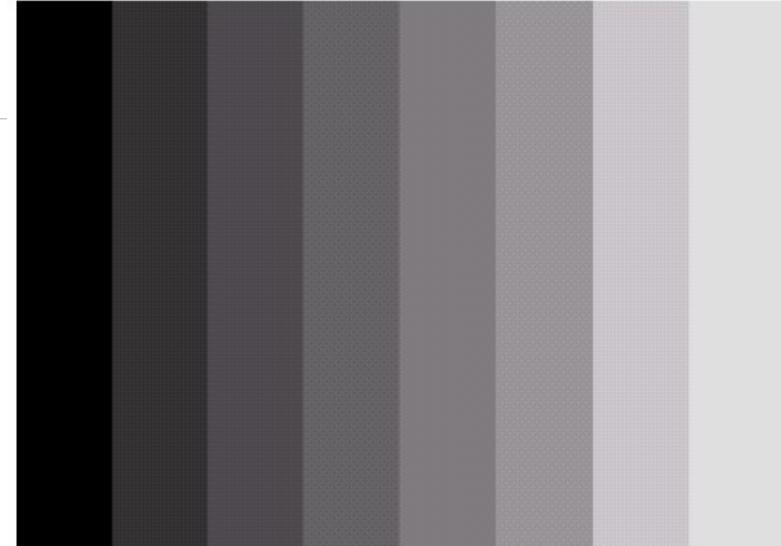
2º Semestre de 2006

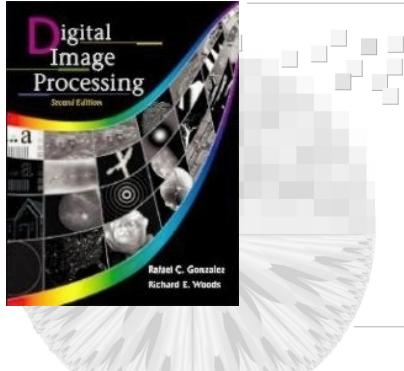
Disciplina(s)	Turma	Curso	Plano	E-Mail
☒ BIOESTATÍSTICA	2A	FISIOTERAPIA	☒	✉
☒ BIOESTATÍSTICA	3B	FARMACIA	☒	✉
☒ COMPUTAÇÃO GRÁFICA	6A	CIE.COMPUTAÇÃO	☒	✉
☒ ESTRUTURAS DE DADOS I	3A	SIST.DE INFORM.	☒	✉
☒ GEOMETRIA ANALÍTICA	2A	CIE.COMPUTAÇÃO	☒	✉
☒ INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	6A	SIST.DE INFORM.	☒	✉
☒ MATEMÁTICA APLICADA	1B	FARMACIA	☒	✉
☒ PROG.DE APROXIMAÇÃO PROGRESSIVA À PRÁTICA III(IX)	3A	MEDICINA	☒	✉
☒ PROJETO DE GRADUAÇÃO I	7A	CIE.COMPUTAÇÃO	☒	✉
☒ PROJETO DE GRADUAÇÃO II	8A	CIE.COMPUTAÇÃO	☒	✉



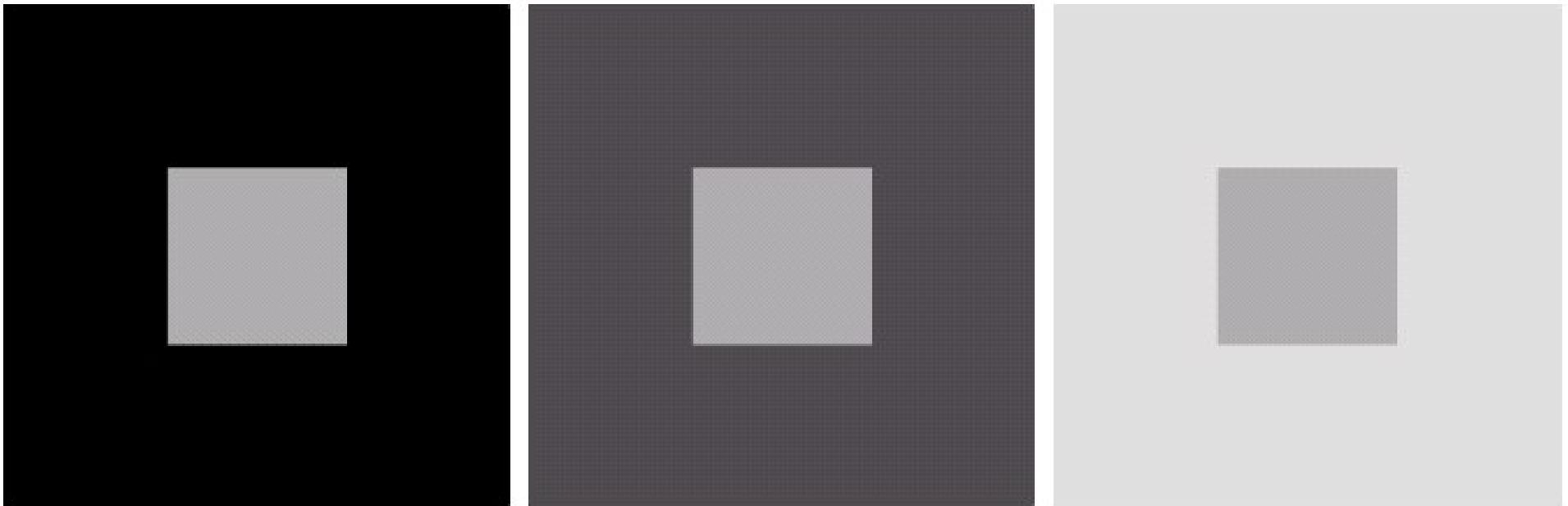
Influência da vizinhança na análise visual

Bandas de match

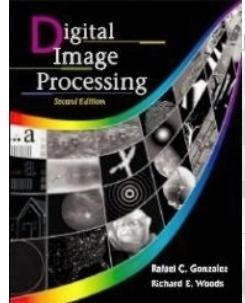




Influência da vizinhança na análise visual

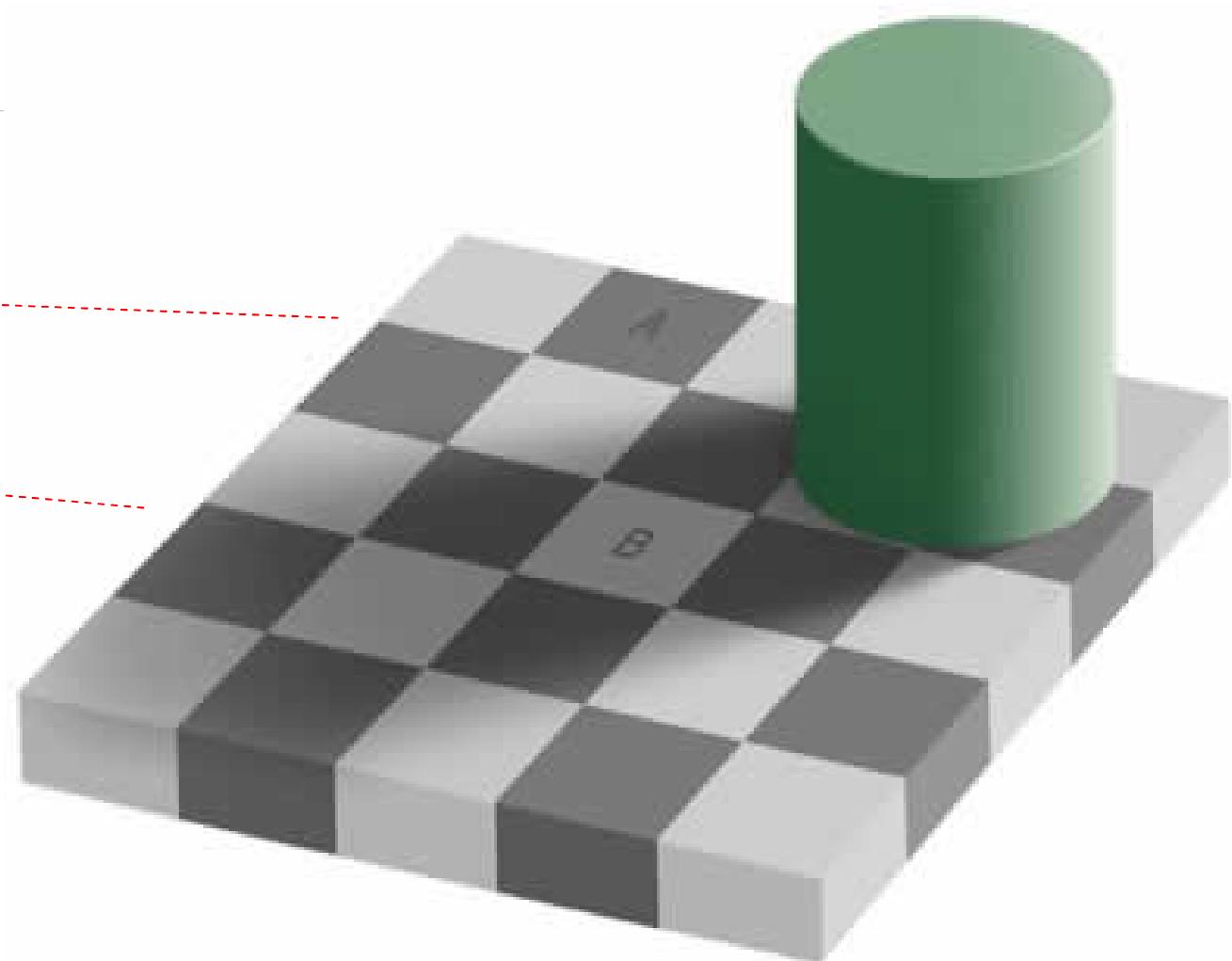


Todos os quadrados internos possuem a mesma tonalidade

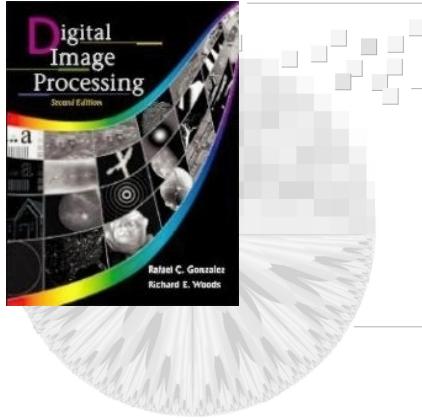


Influência da vizinhança na análise visual

o quadrado A tem
a mesma cor do
quadrado B



Inacreditável → Precisei recortar os pedaços da
imagem e colocá-los lado a lado, para acreditar

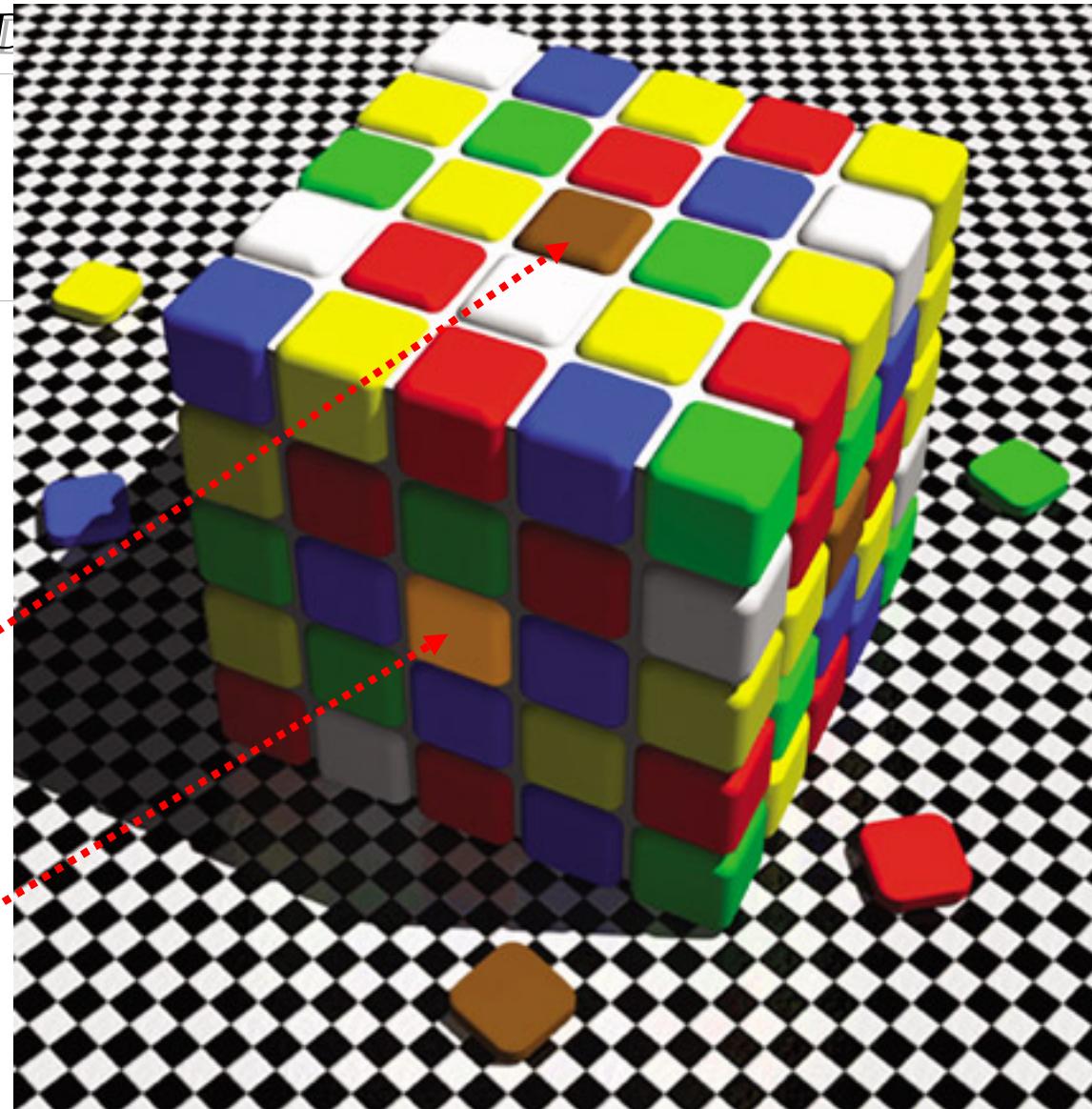


Influência da vizinhança na análise visual

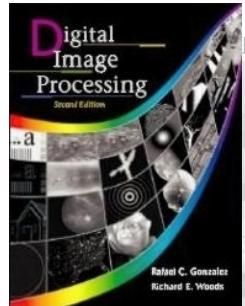
topo



frontal



O quadrado marrom no centro do topo tem a mesma cor do quadrado (laranja) no centro da face frontal



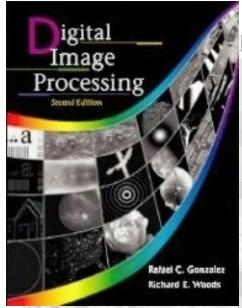
Digital Image Processing, 2nd ed.

www.imageprocessingbook.com

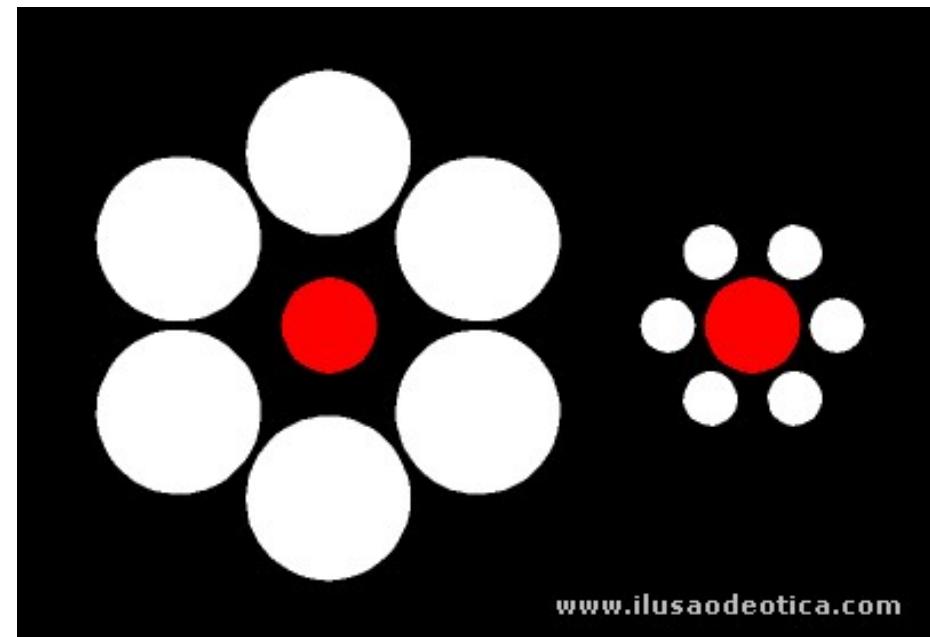
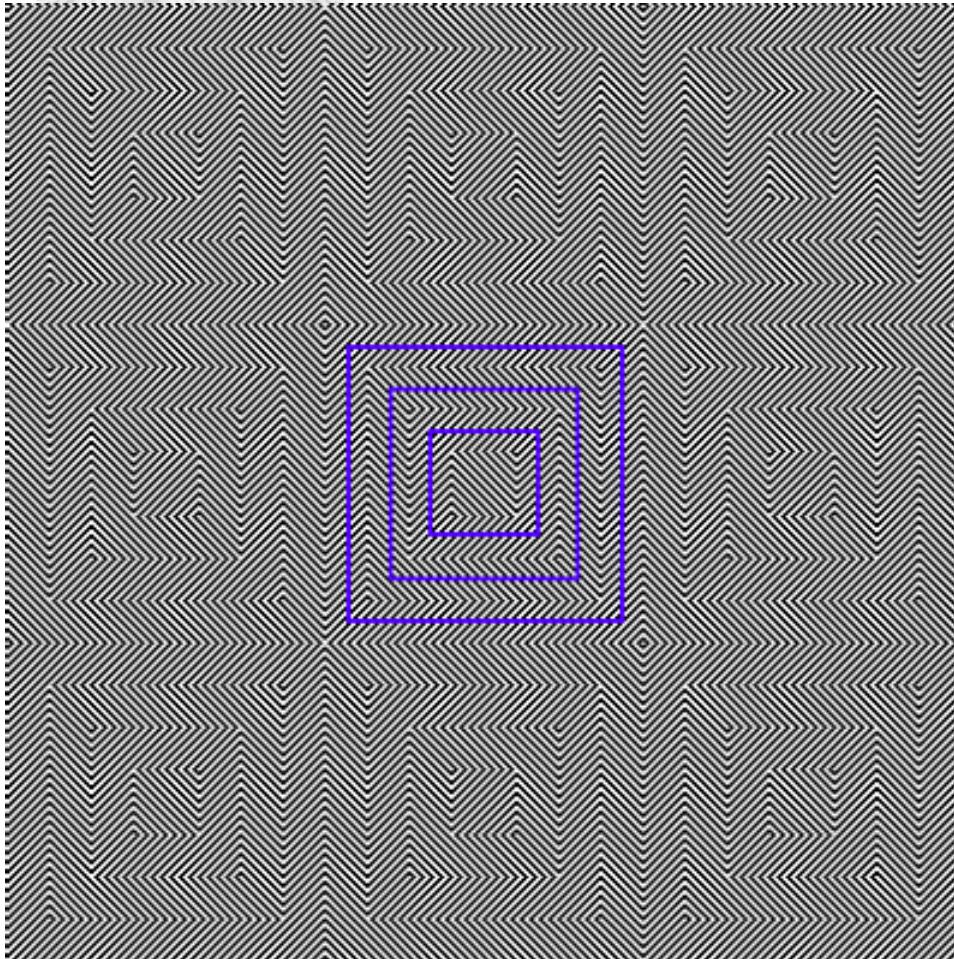
Percepção Triângulo de Kanisza

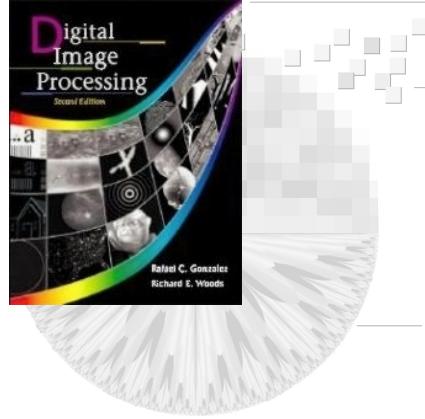


www.ilusaodeotica.com



Percepção



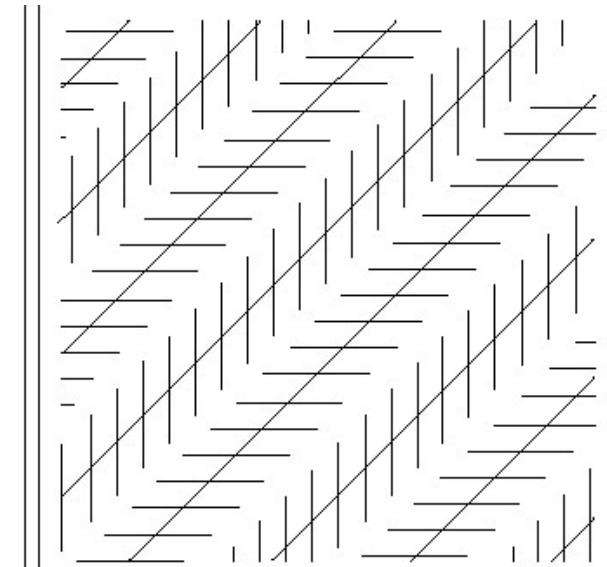
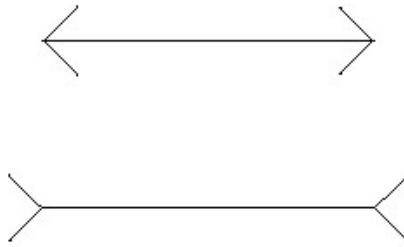
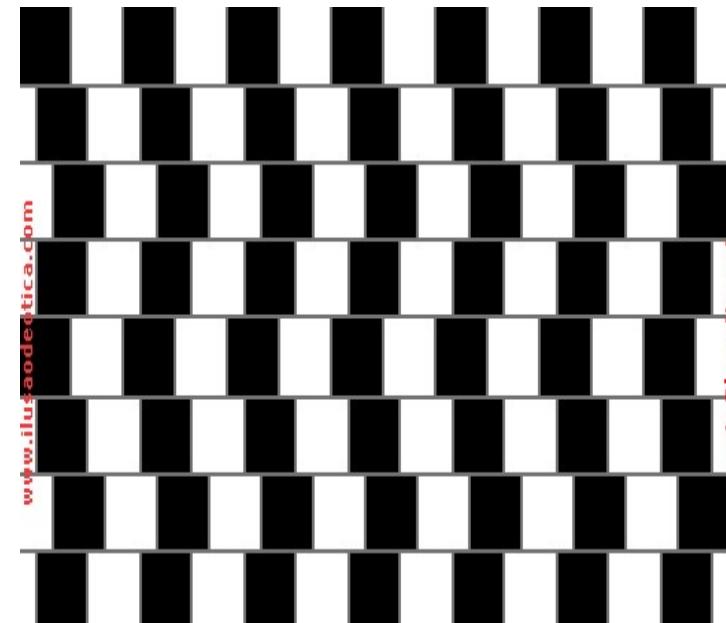


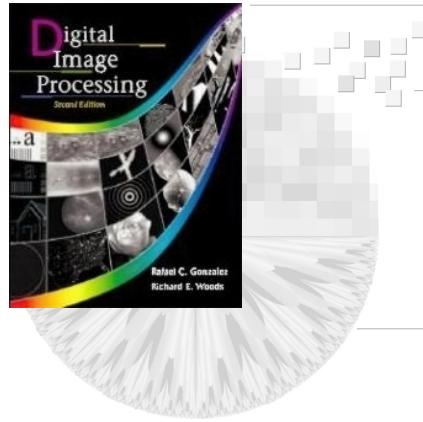
Percepção

Todos os segmentos
são paralelos entre si?

Os segmentos têm o
mesmo comprimento?

Todos os segmentos
são paralelos entre si?



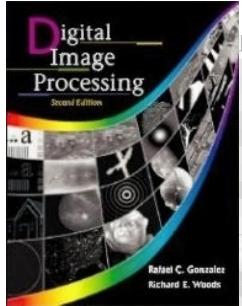


Digital Image Processing, 2nd ed.

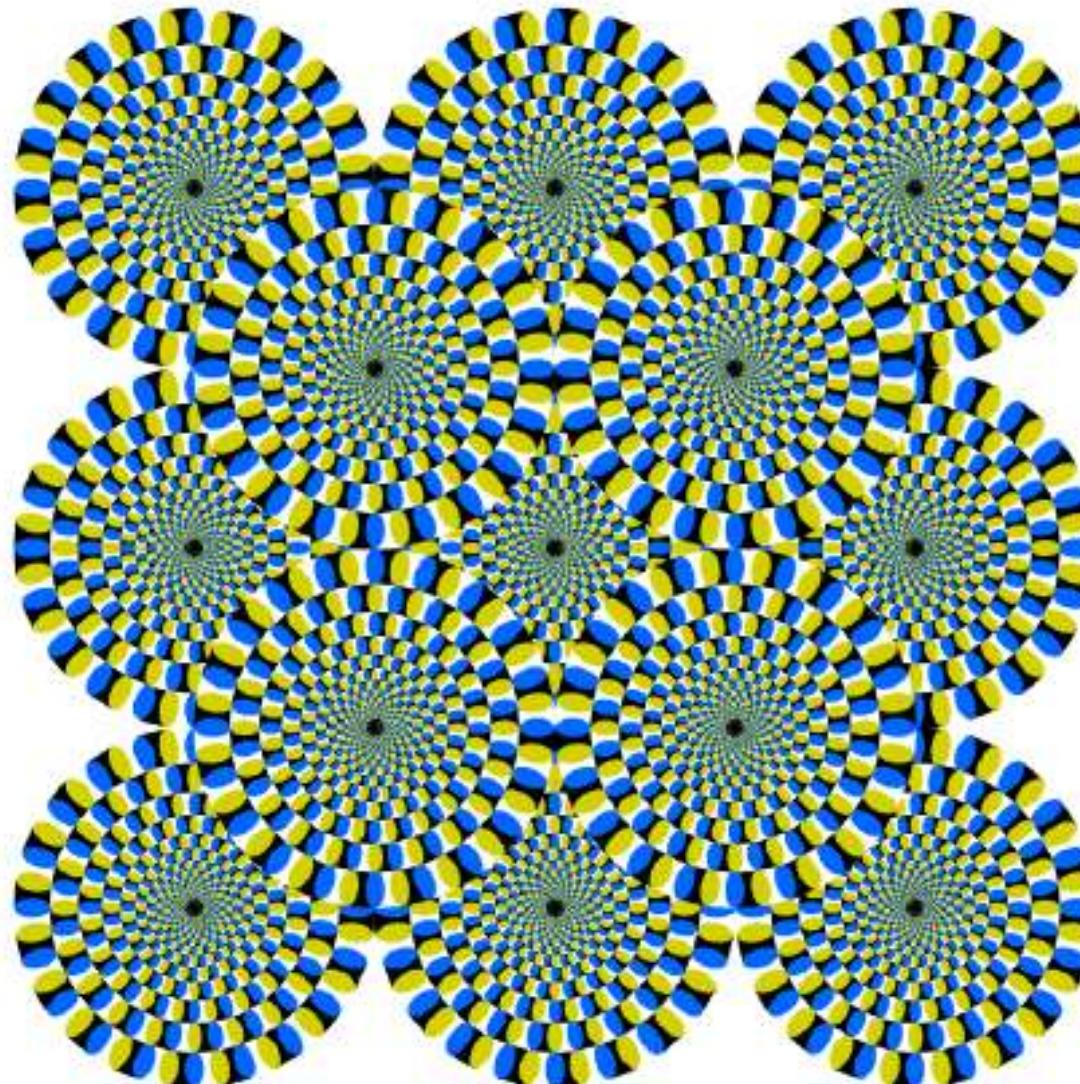
www.imageprocessingbook.com

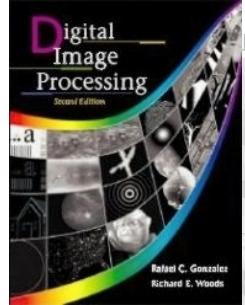


Focalize o ponto no centro e move sua cabeça
(junto com o corpo) pra frente e pra trás. Estranho...



Percepção – algo está se movendo?





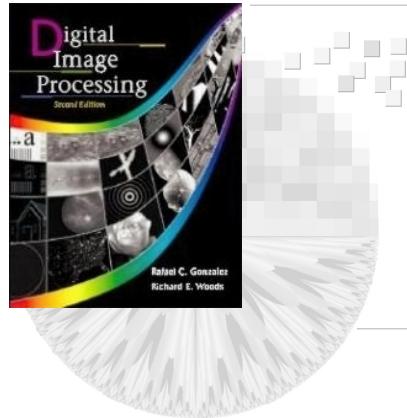
Percepção

Olhe abaixo e diga as CORES, não as palavras:

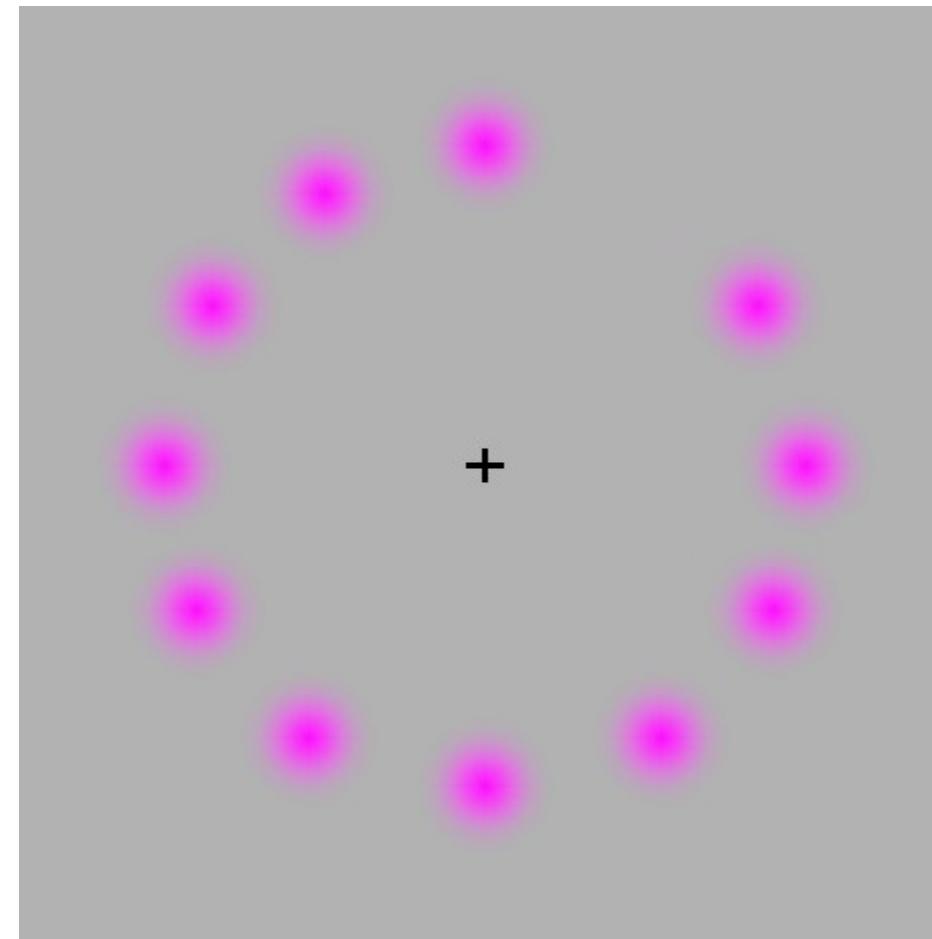
AMARELO AZUL LARANJA
PRETO VERMELHO VERDE
ROXO AMARELO VERMELHO
LARANJA VERDE PRETO
AZUL VERMELHO ROXO
VERDE AZUL LARANJA

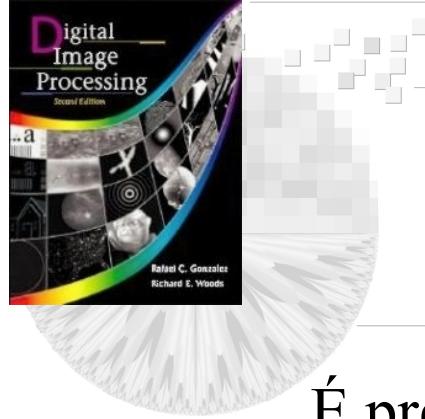
Conflito no Cérebro!

O lado direito do seu cérebro tenta dizer a cor,
mas o lado esquedo insiste em ler a palavra.



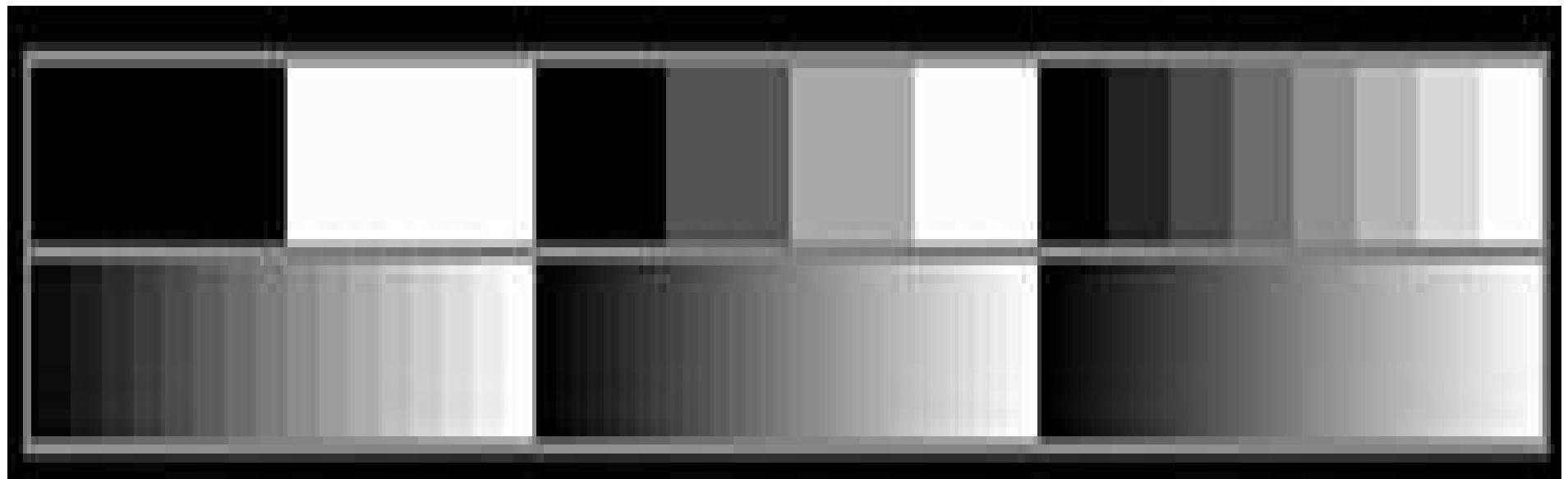
Efeitos



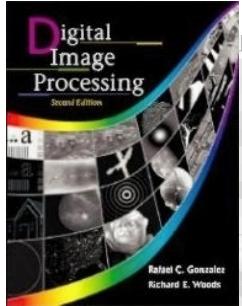


É preciso conhecer as limitações do olho humano

ex: **distinção entre tons de cinza**



Somos 100 vezes menos sensíveis a luz de 450 nm do que a luz de 510 nm



Interação luz sensor

Fonte: luz visível, radar, infravermelho, raio-X

Sensor: normalmente é sensível a uma banda de energia do espectro eletromagnético. Em geral:

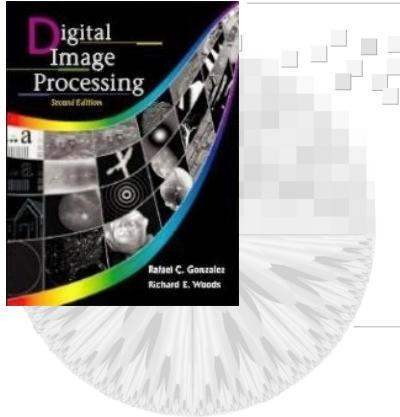
- Entra energia
- Sai sinal elétrico
- Saída proporcional à entrada

Equipamentos de captura:

- Normalmente formados por diversos sensores, distribuídos em alguma formação geométrica (geralmente retangular)

Exemplo: câmera fotográfica digital

- Formada por uma matriz de NxN sensores (CCD, ou charge-coupled device)
- Cada CCD captura a integral da energia incidente em sua superfície



Modelo de formação da imagem usando iluminação

- Função 2D de $f(x,y)$ (positiva e finita)

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

$f(x,y)$ é positivo e escalar obtido por:

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

onde: $i(x,y)$ é a intensidade da luz $0 < i(x,y) < \infty$

e $r(x,y)$ é a reflectância $0 < r(x,y) < 1$

(quantidade de luz refletida pelos objetos)

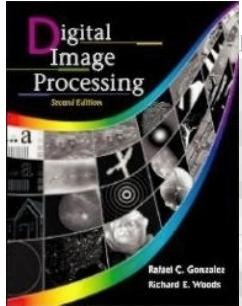
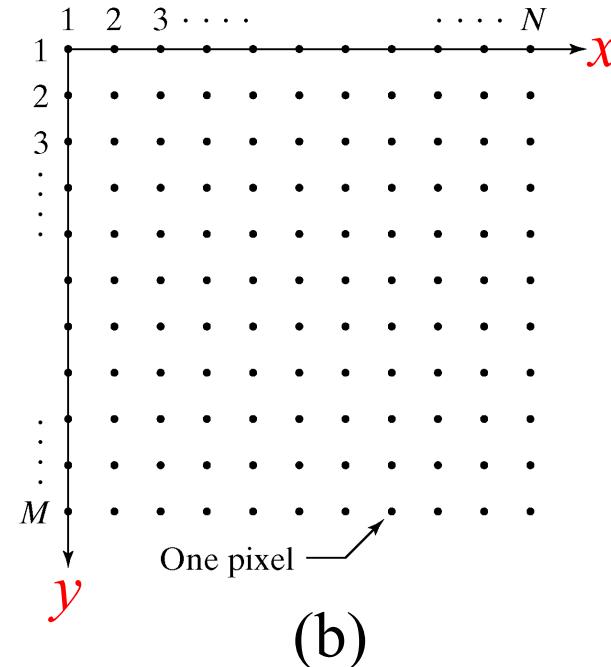
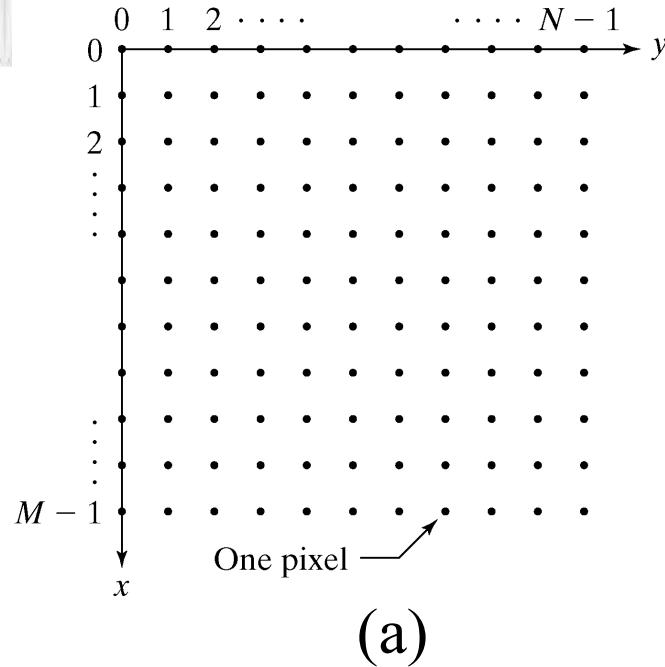


Imagen Digital



a b

FIGURE 2.1
Coordinate conventions used
(a) in many image processing books,
and (b) in the Image Processing Toolbox.

Convenções de coordenadas:
(a) da maioria dos livros
(b) nos ambientes de programação

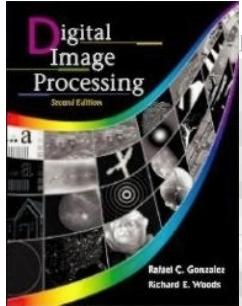


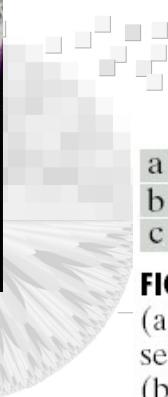
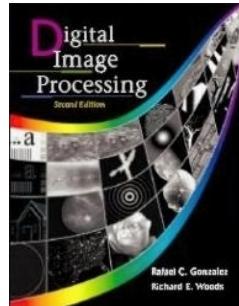
Imagen digital

Representação de imagens digitais monocromáticas:

- após a amostragem e quantização, a imagem digital resultante pode ser representado por uma matriz com M linhas e N colunas:

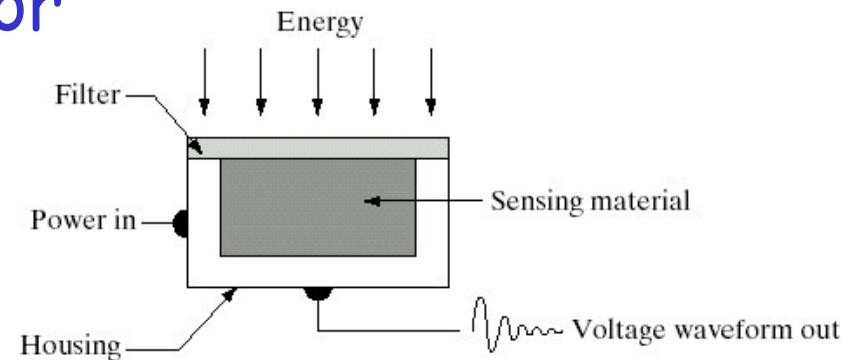
$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} f[0,0] & f[0,1] & \cdots & f[0,N-1] \\ f[1,0] & f[1,1] & \cdots & f[1,N-1] \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f[M-1,0] & f[M-1,1] & \cdots & f[M-1,N-1] \end{bmatrix}$$

Cada elemento da matriz é chamado de *pixel*



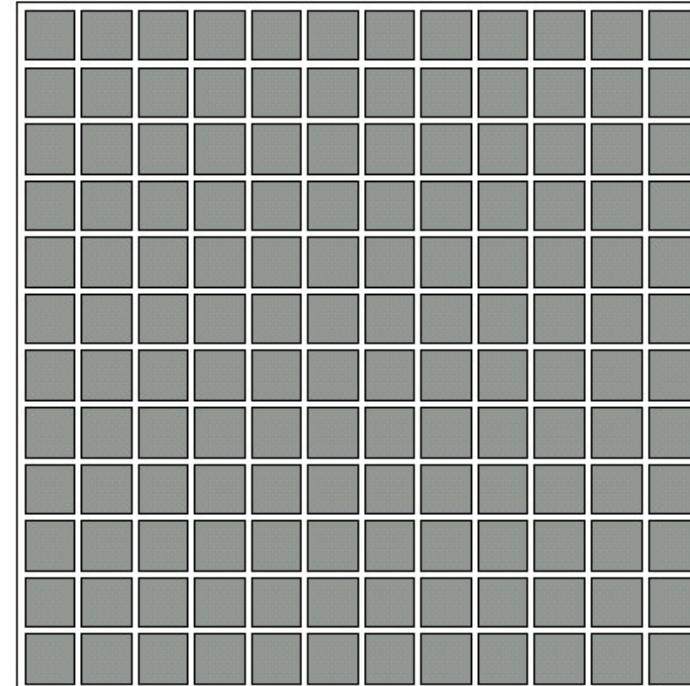
sensor

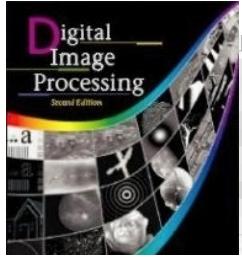
FIGURE 2.12
(a) Single imaging sensor.
(b) Line sensor.
(c) Array sensor.



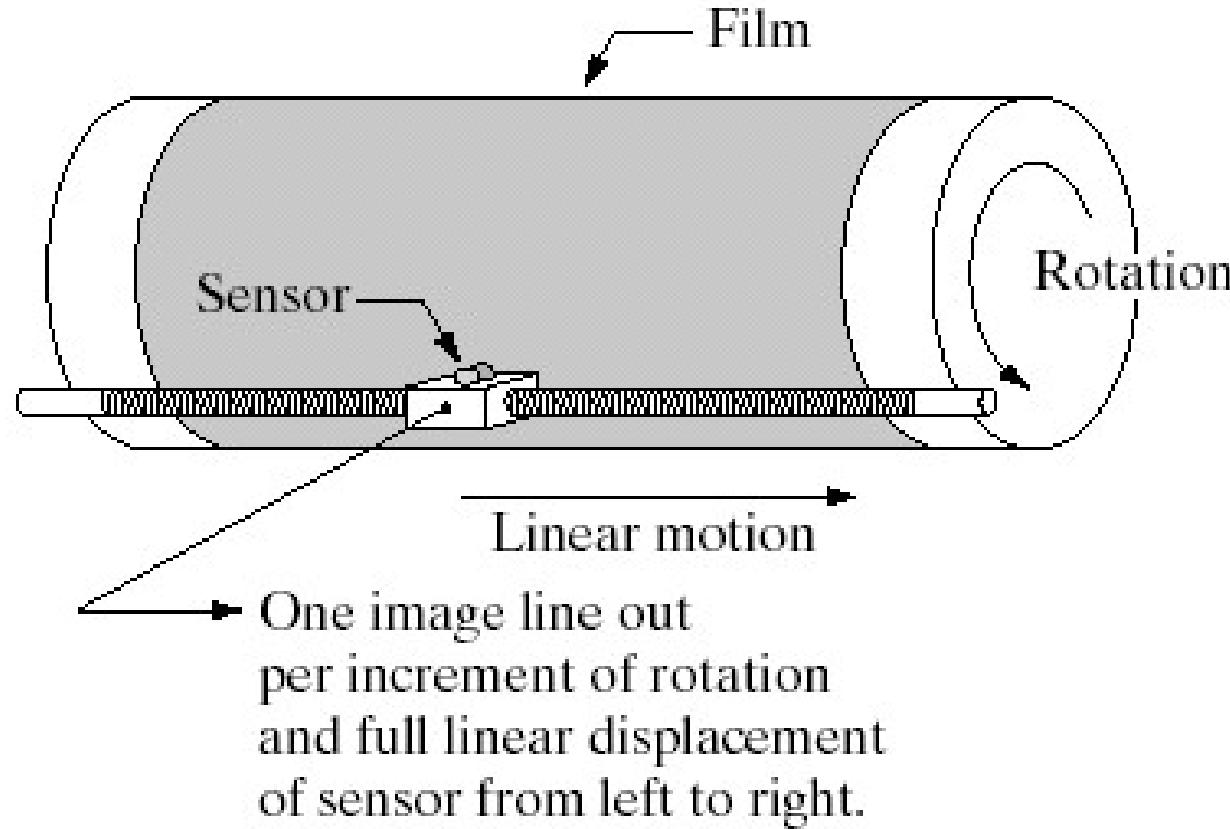
Linear

Matricial

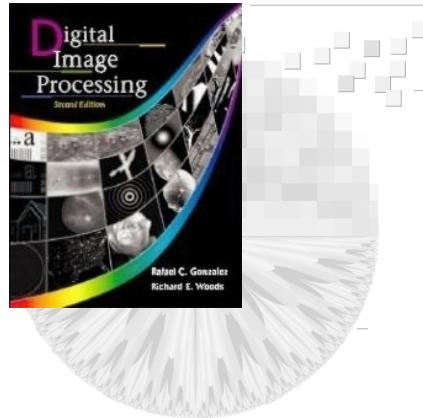




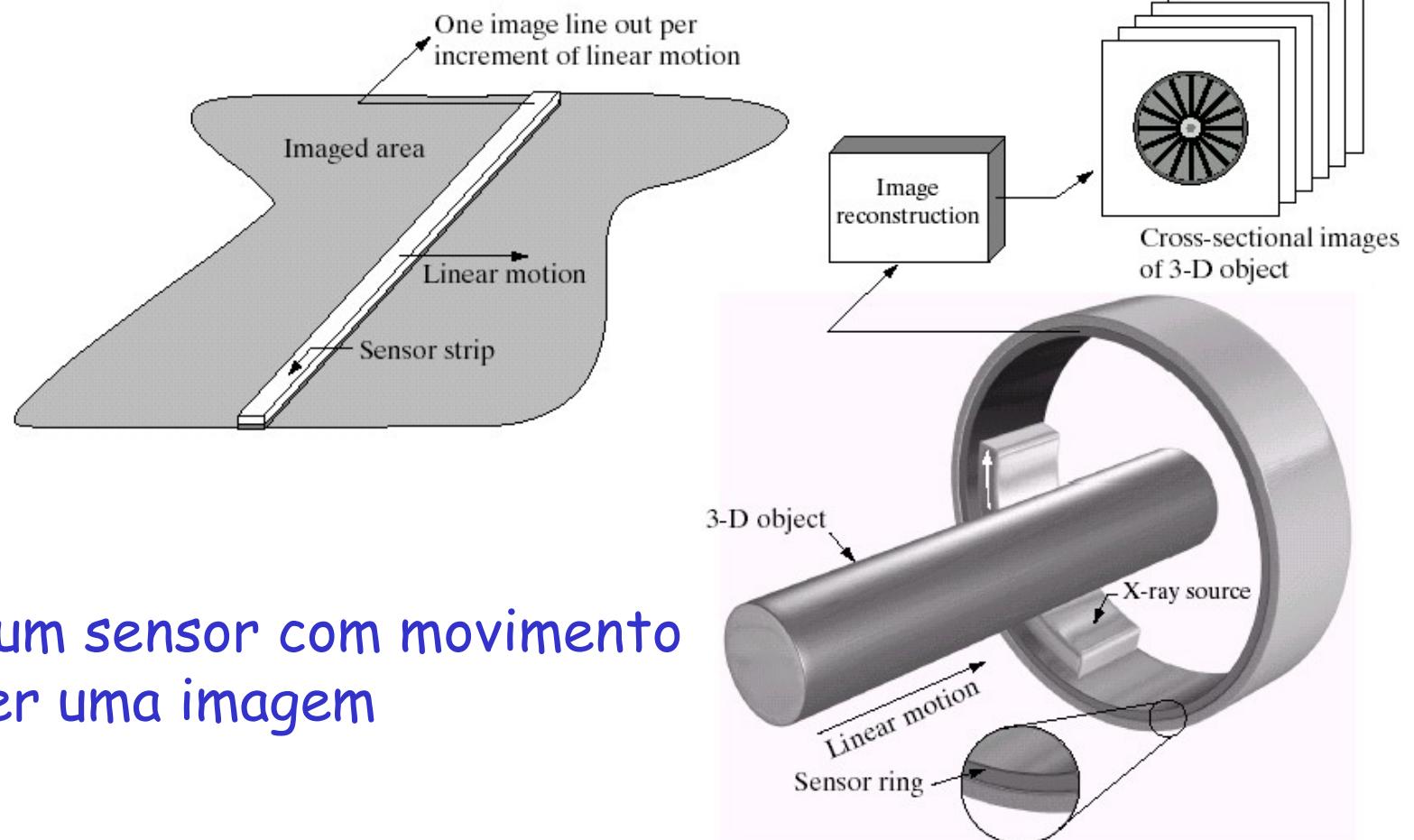
sensor



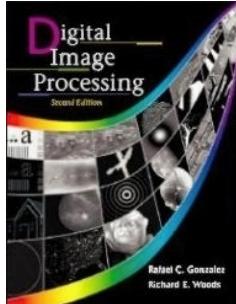
Combinando um sensor linear com o movimento para obter uma imagem (scanner)



sensor



a b

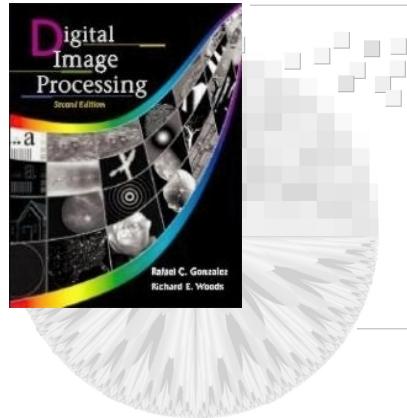


Conversão analógico / digital

- O sinal incidente no sensor é analógico, a imagem capturada é digital

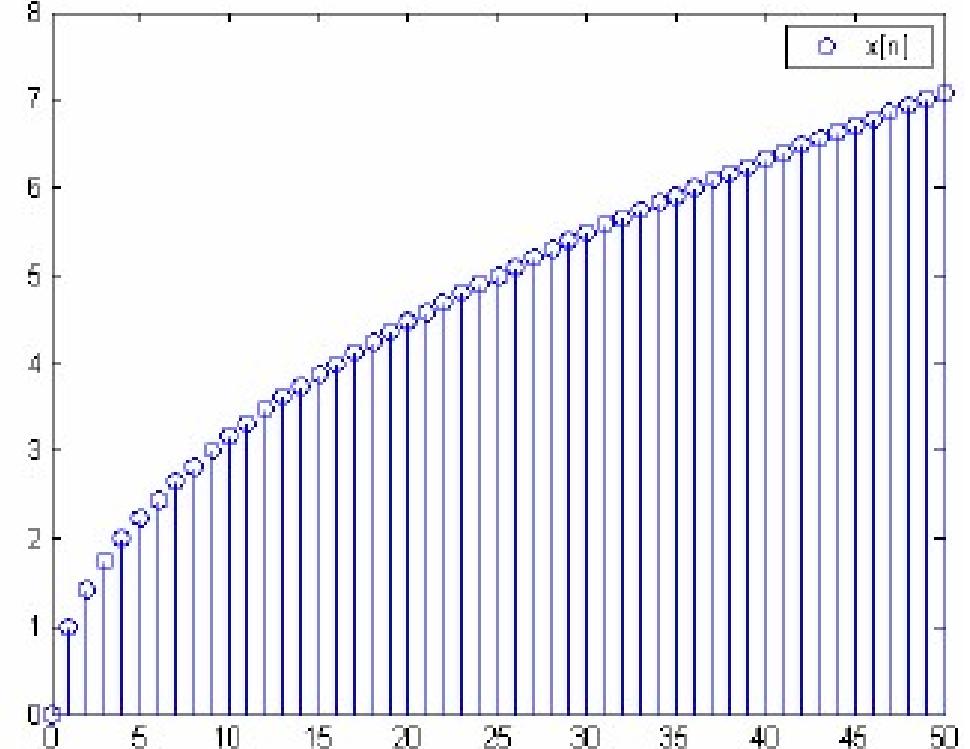
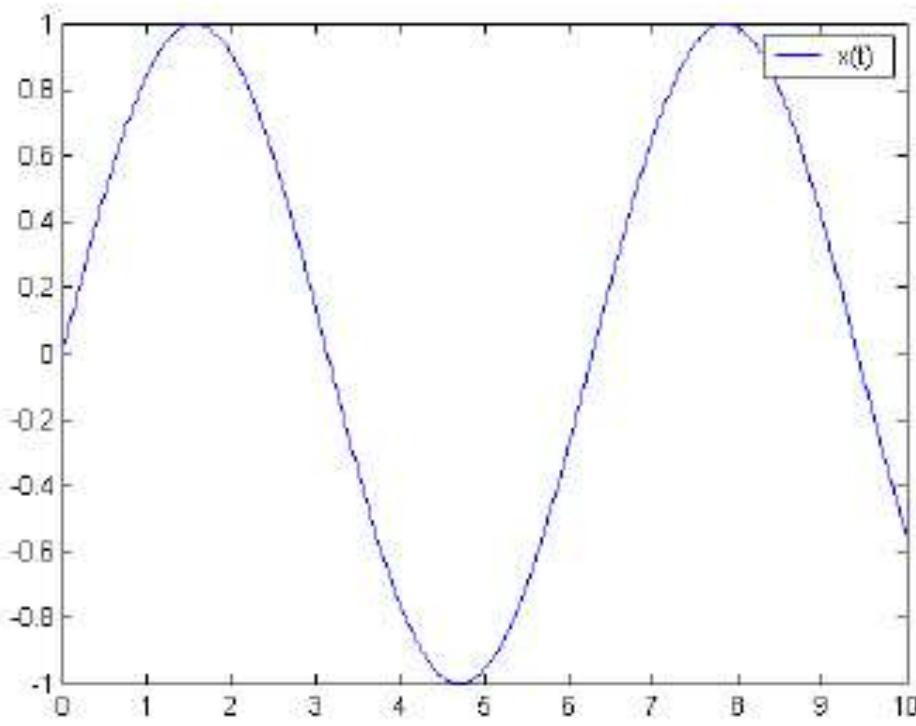
Questões fundamentais:

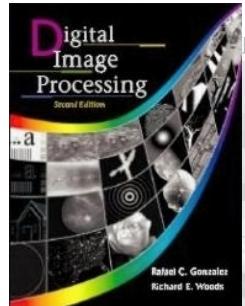
- Amostragem (discretização do Espaço)
- Quantização (discretização da Intensidade (Níveis))



Fundamentos de Imagens Digitais

Sinal analógico: $x(t)$, para $t \in [-\infty, \infty]$ Sinal digital: $[n]$, para $n = 0, 1, \dots$

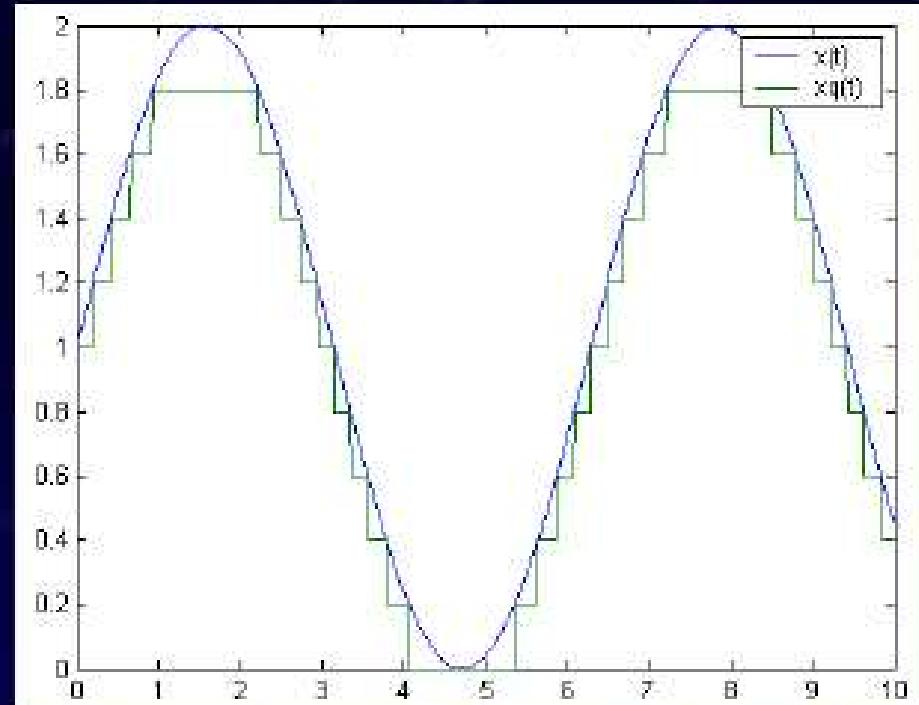




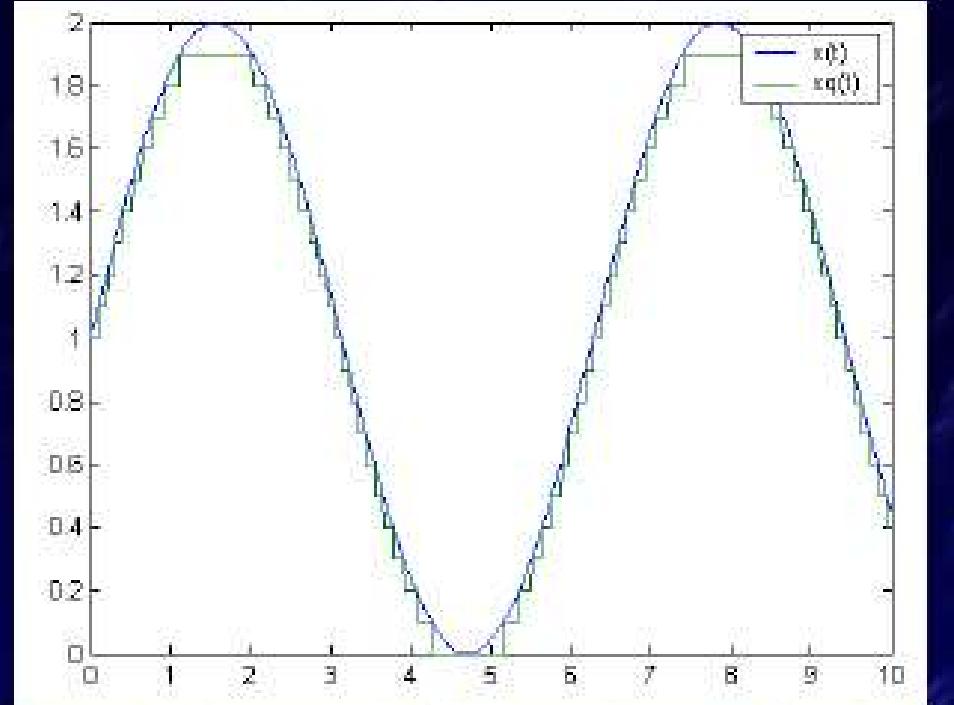
Fundamentos de Imagens Digitais

Qauntização

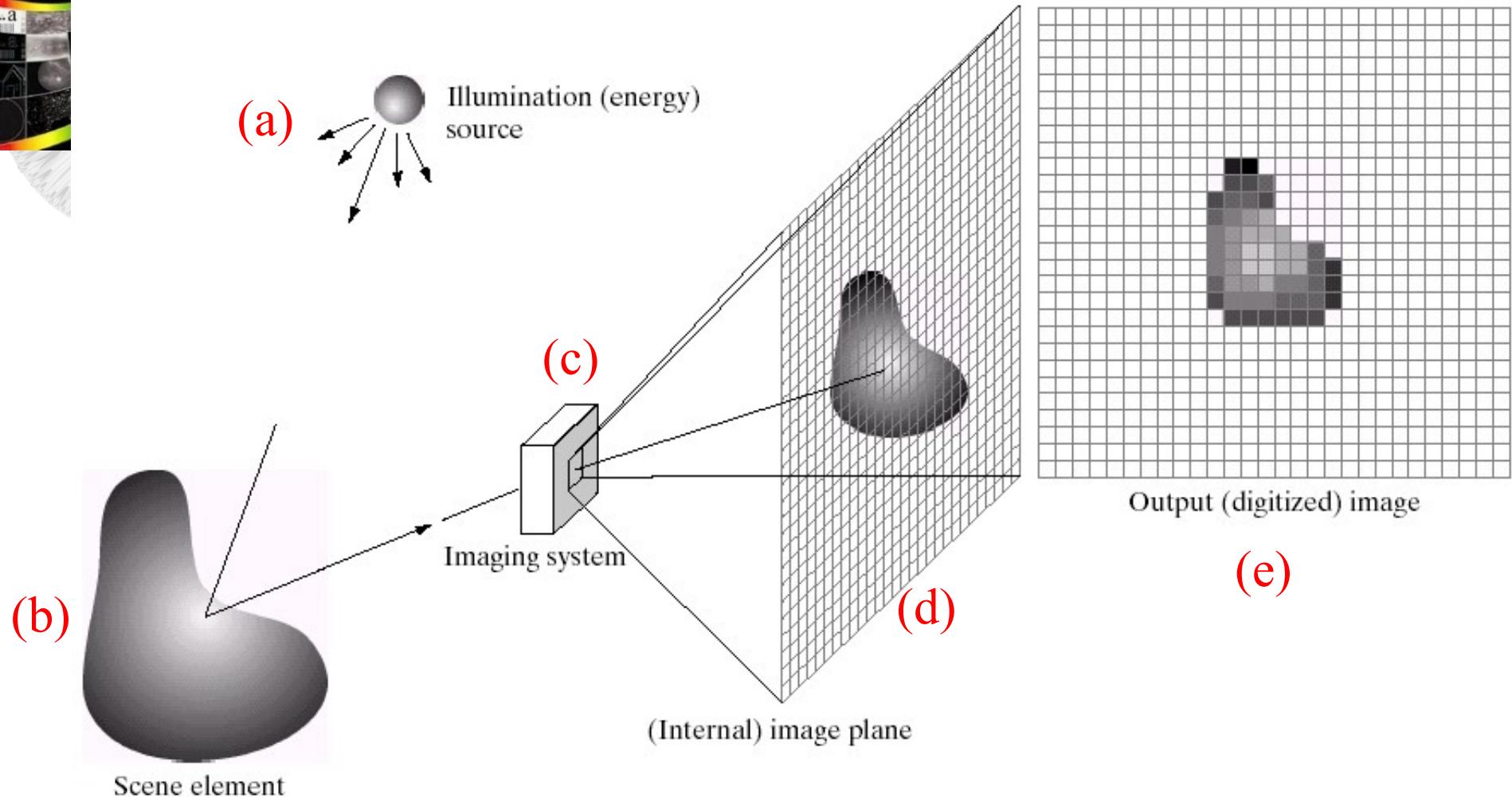
Quantização de sinais 1D



Quantização em 10 bins



Quantização em 20 bins

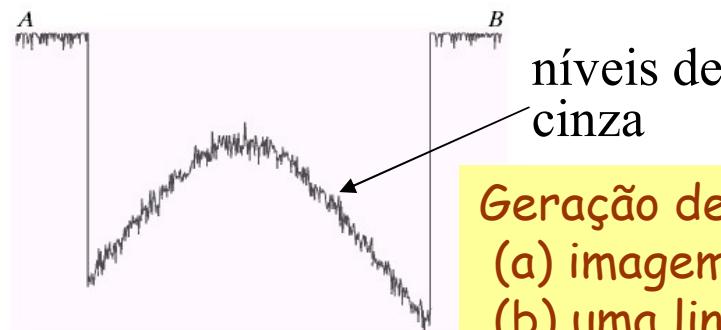
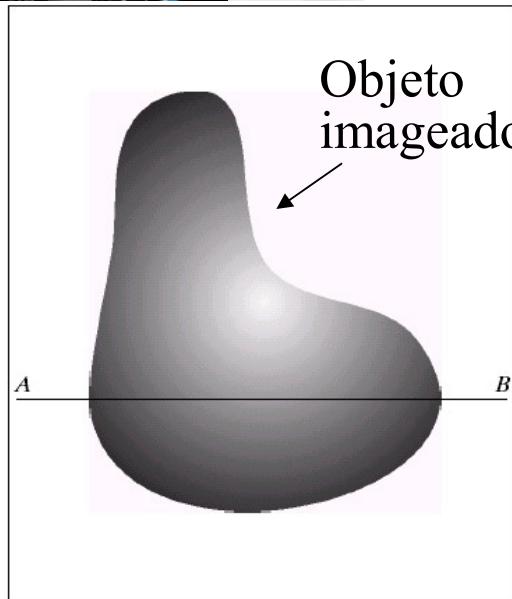


Um exemplo de um processo de aquisição:

- a) iluminação;
- b) elemento de cena;
- c) sistema de imageamento
- d) projeção da cena num plano;
- e) imagem digitalizada.

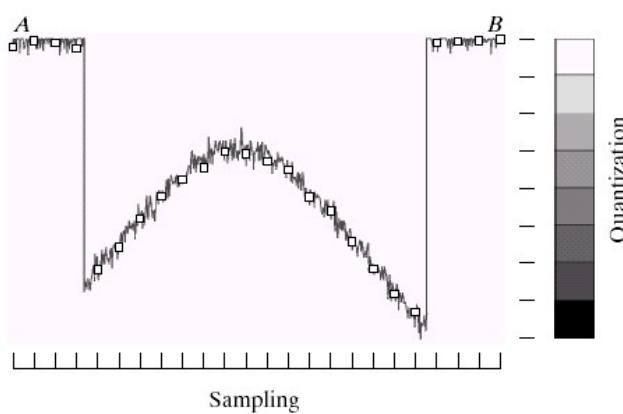


Amostragem e Quantização



valores digitais

Geração de uma imagem digital
(a) imagem contínua
(b) uma linha passando de A a B
mostra a intensidade contínua
(c) amostragem e quantização
(d) linha digital passando de A a B



a b
c d

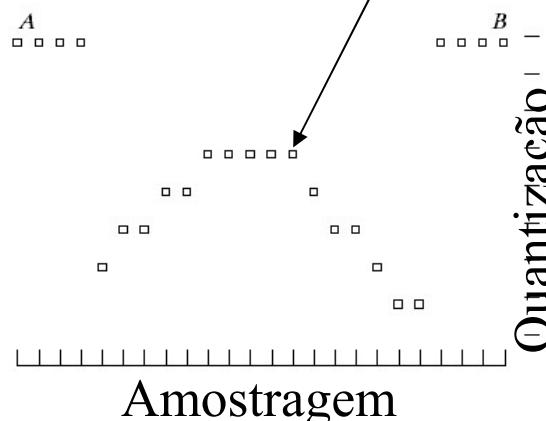
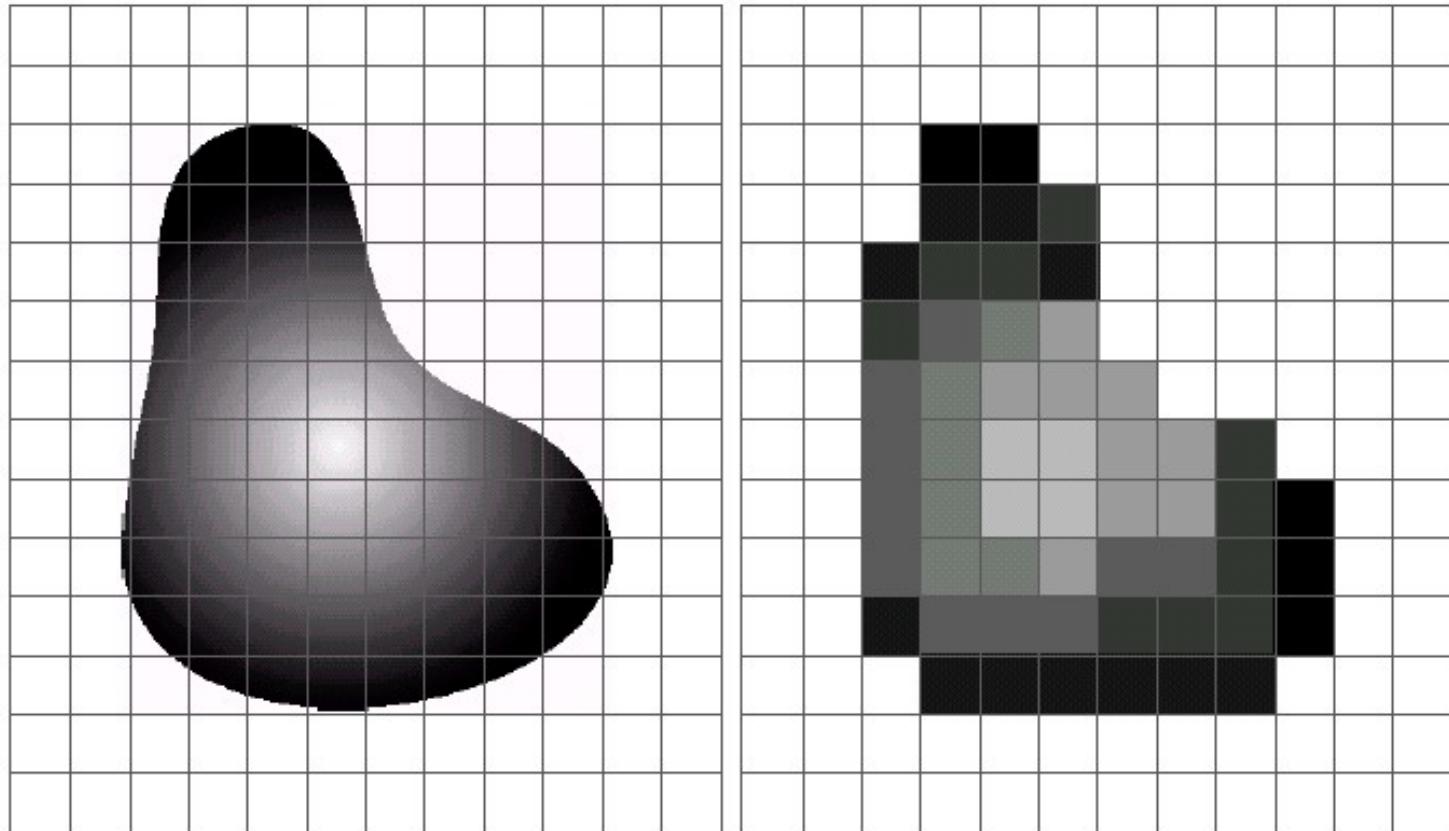
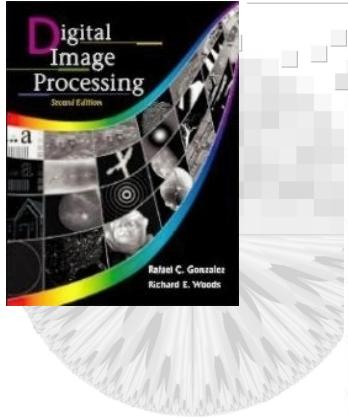
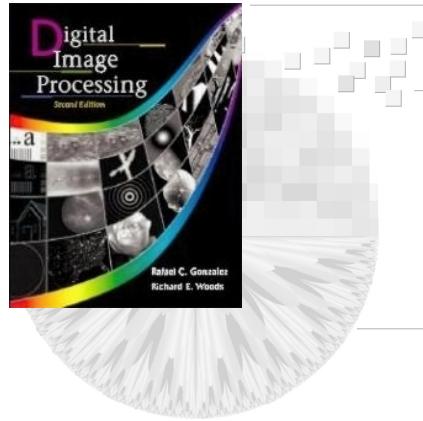


FIGURE 2.16 Generating a digital image. (a) Continuous image. (b) A scan line from A to B in the continuous image, used to illustrate the concepts of sampling and quantization. (c) Sampling and quantization. (d) Digital scan line.

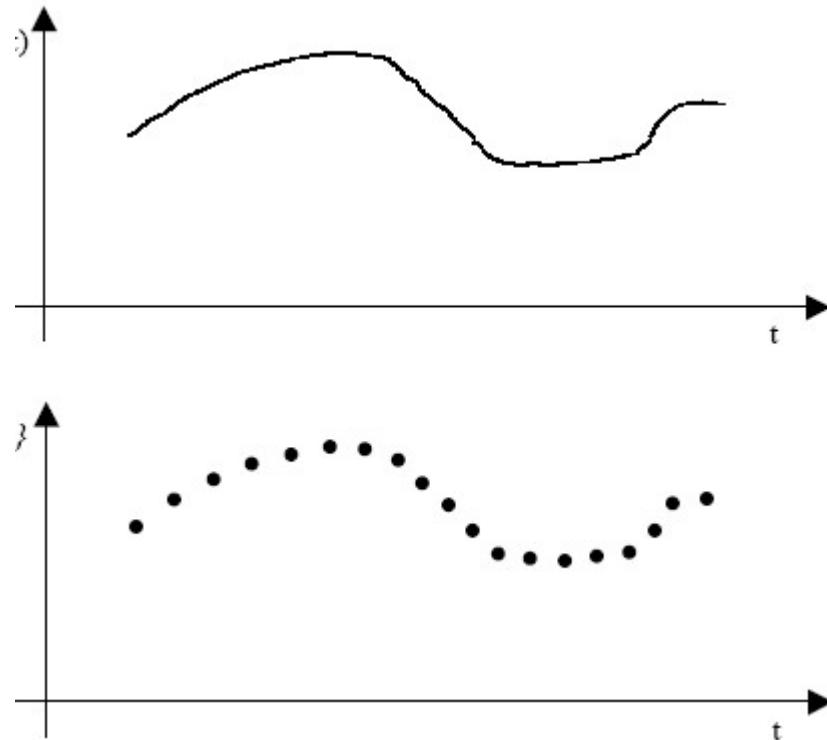


- (a) imagem contínua projetada numa matriz de sensores
- (b) Resultado da imagem amostrada e quantizada

O tamanho dos detalhes que podem ser digitalizados dependem do tamanho da grade, o que decorre do teorema da amostragem, que afirma que para que um sinal possa ser adequadamente reconstruído, a taxa de amostragem precisa ser maior que duas vezes a maior freqüência presente no sinal.

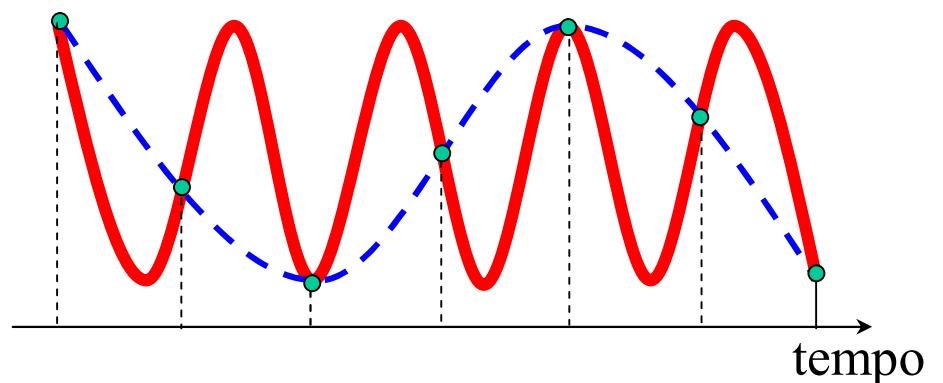


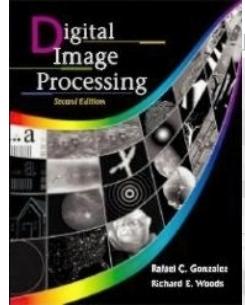
Reconstrução do sinal



Amostragem adequada

Amostragem insuficiente

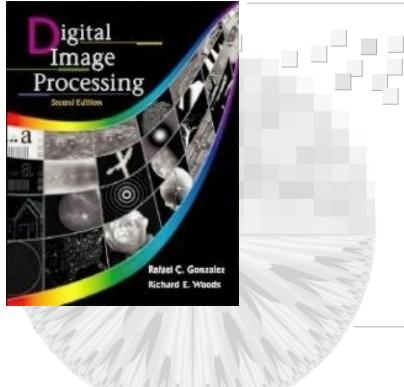




Reconstrução do sinal Amostragem insuficiente



Resultados para um jogo no XBOX e no PS3

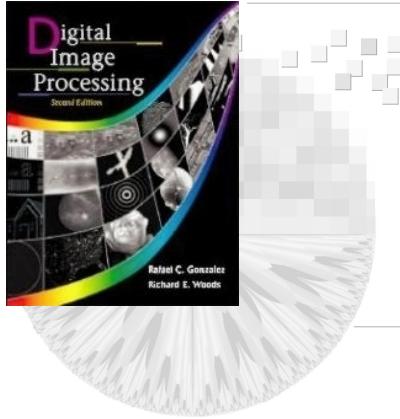


Teorema de Nyquist

Uma taxa de amostragem de no mínimo duas vezes o valor da frequência máxima alcançada pelo sinal analógico é necessária para possibilitar o registro digital de todas as frequências analisadas.

Esta taxa de amostragem mínima é chamada frequência de Nyquist.

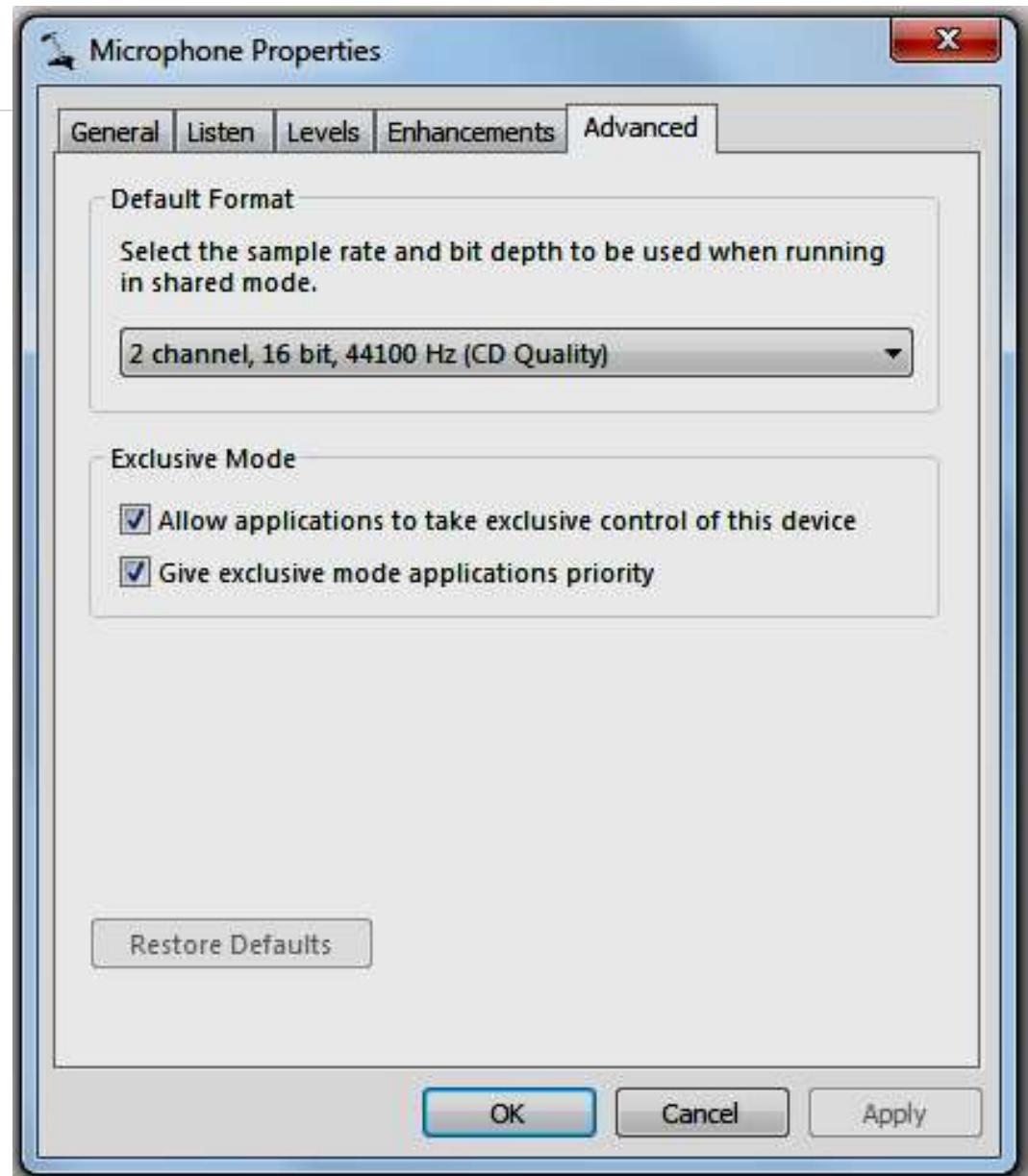
Quando a taxa de amostragem para determinado sinal é menor que a frequência de Nyquist, ocorre um efeito chamado aliasing ou foldover, em que uma alta frequência é medida erroneamente como sendo de frequência mais baixa.

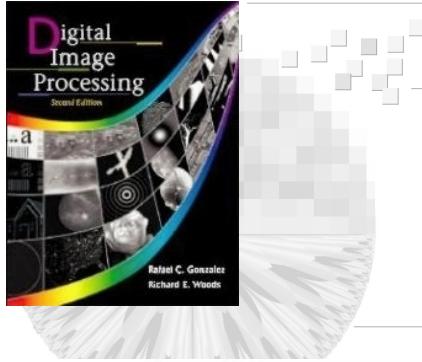


Amostragem com o microfone (áudio)

1) Qual a frequência máxima que se deseja capturar com este microfone?

2) Quantos níveis (quantização)?





Amostragem insuficiente

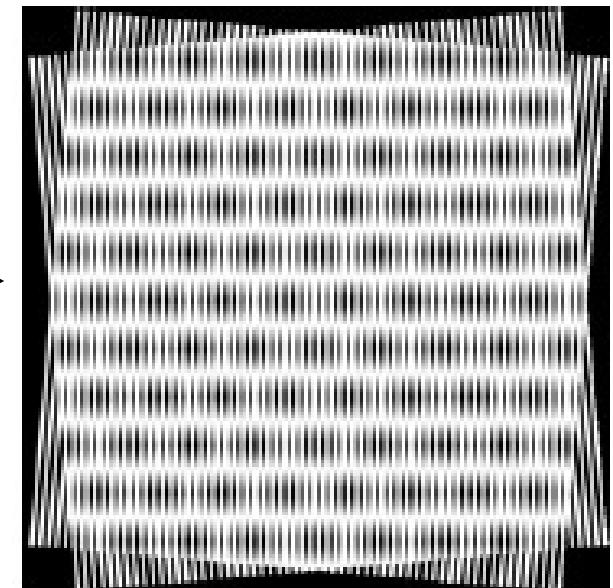
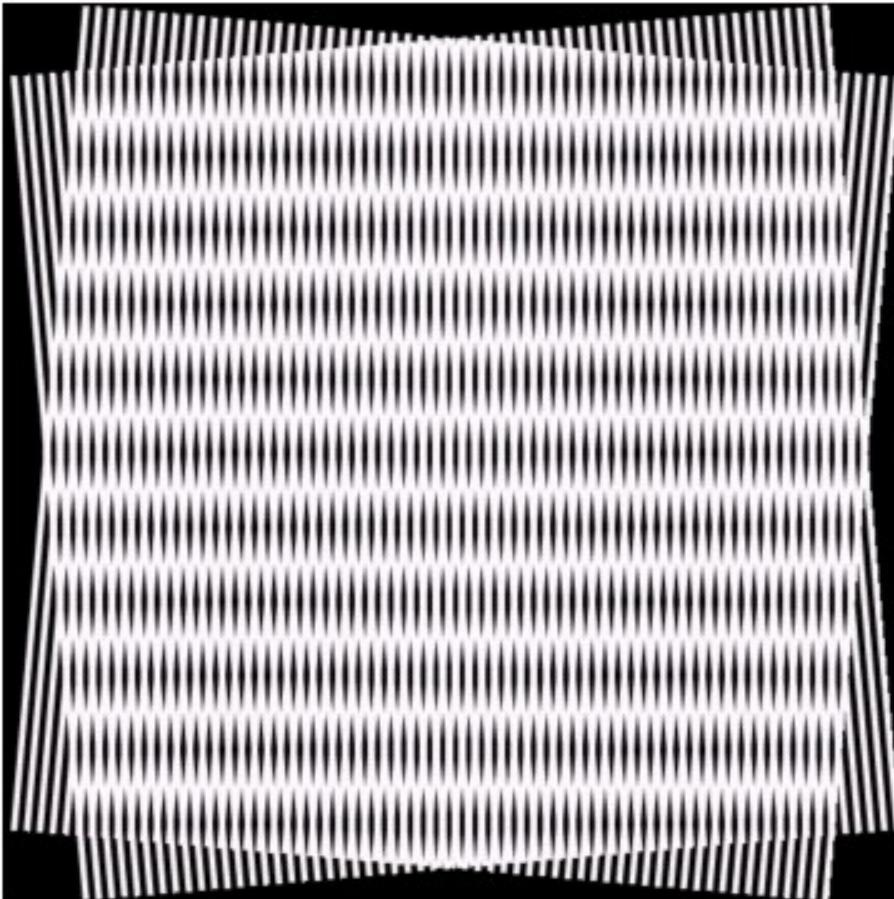
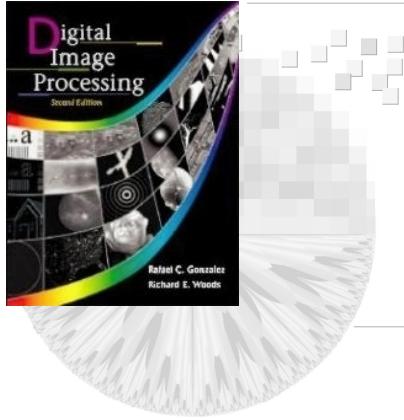


Illustration of the Moiré pattern effect.

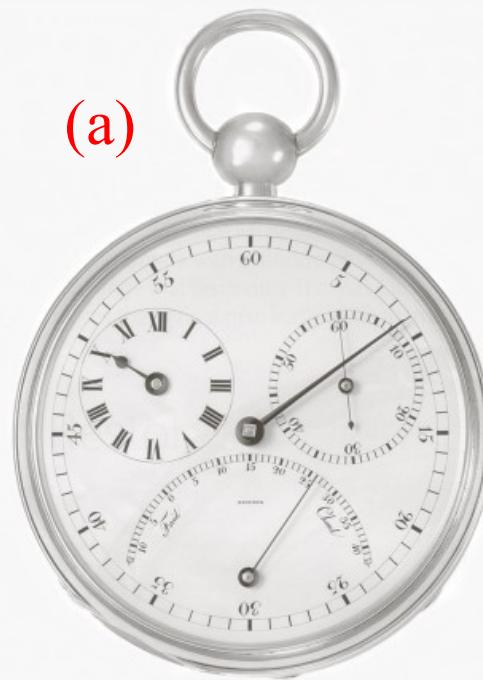


Digital Im

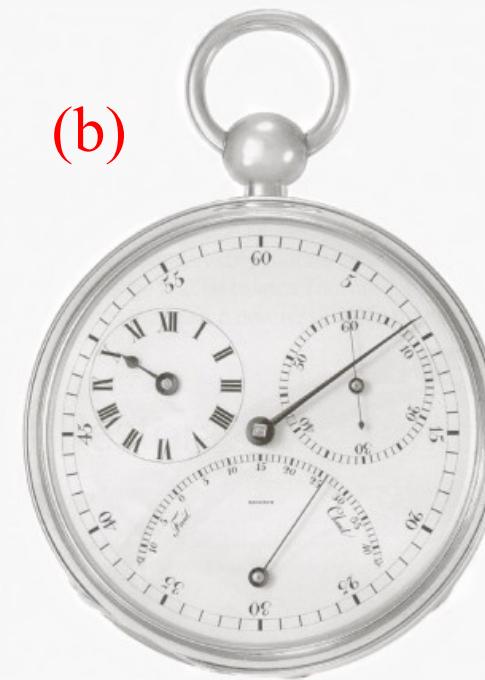
Efeitos típicos de redução de resolução espacial.
Imagens amostradas:

- (a) 1250 dpi
- (b) 300 dpi
- (c) 150 dpi
- (d) 70 dpi

(a)



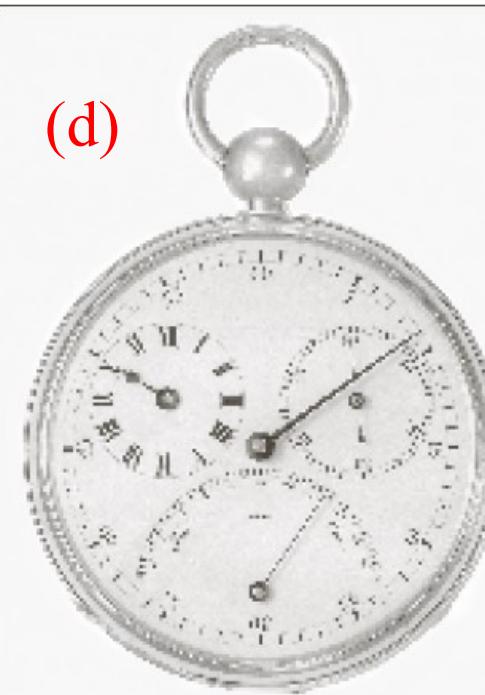
(b)

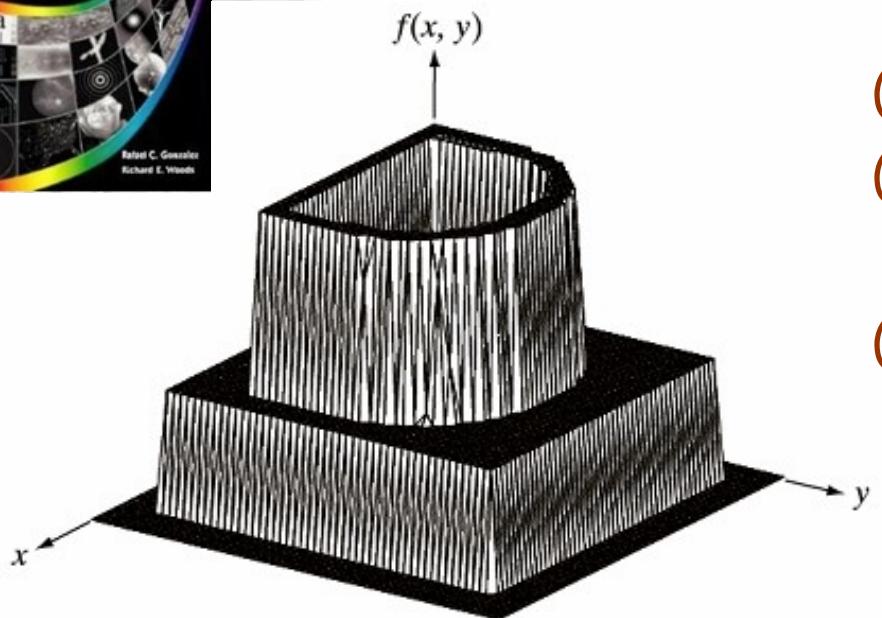
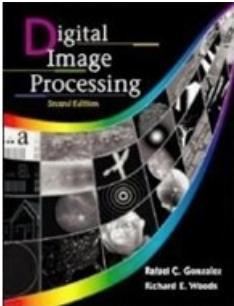


(c)

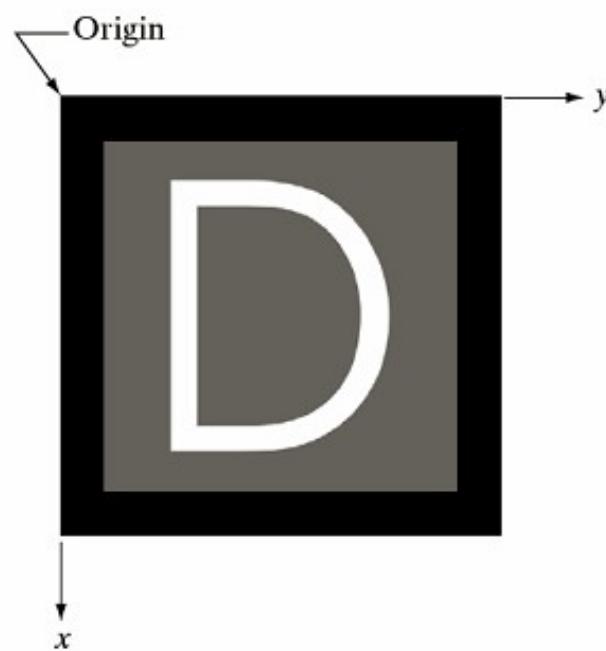


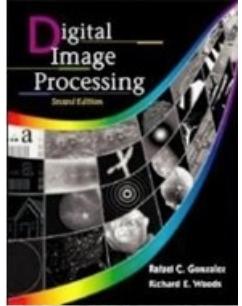
(d)



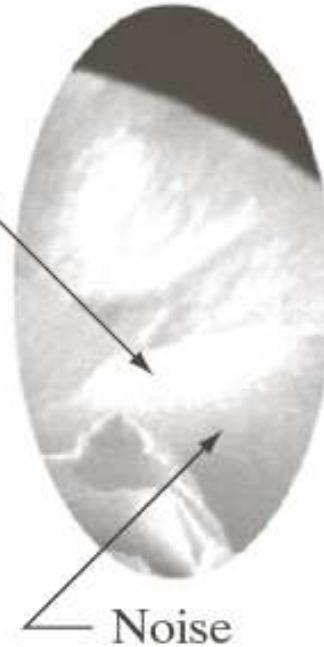


- (a) Imagem plotada como uma superfície
 - (b) Imagem mostrada como uma matriz de intensidade visual
 - (c) Imagem mostrada como uma matriz 2D numérica (0, 0.5 e 1, representando preto, cinza e branco)





Saturation

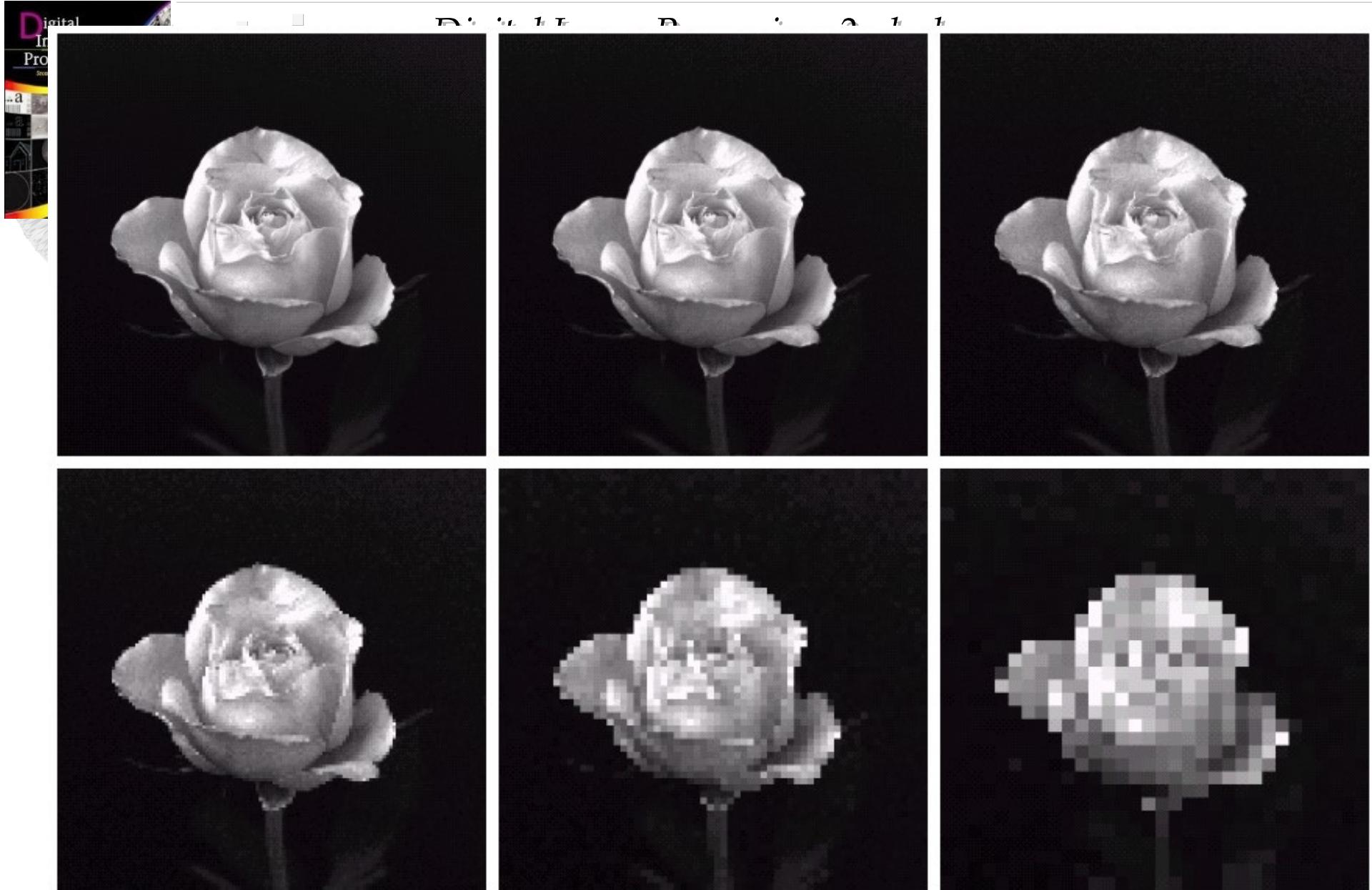


www.imageprocessingbook.com

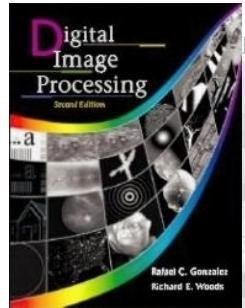
Uma imagem exibindo
saturação e ruído

Saturação corresponde aos
altos valores de brilho,
aproximados para o valor
máximo

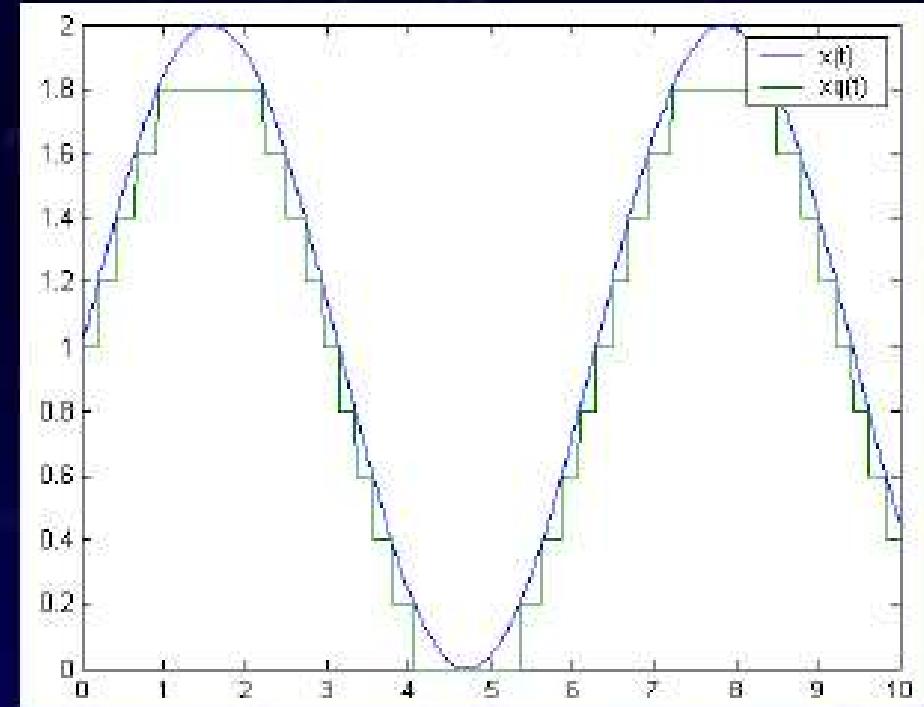
Ruído aparece como
uma granulação na textura



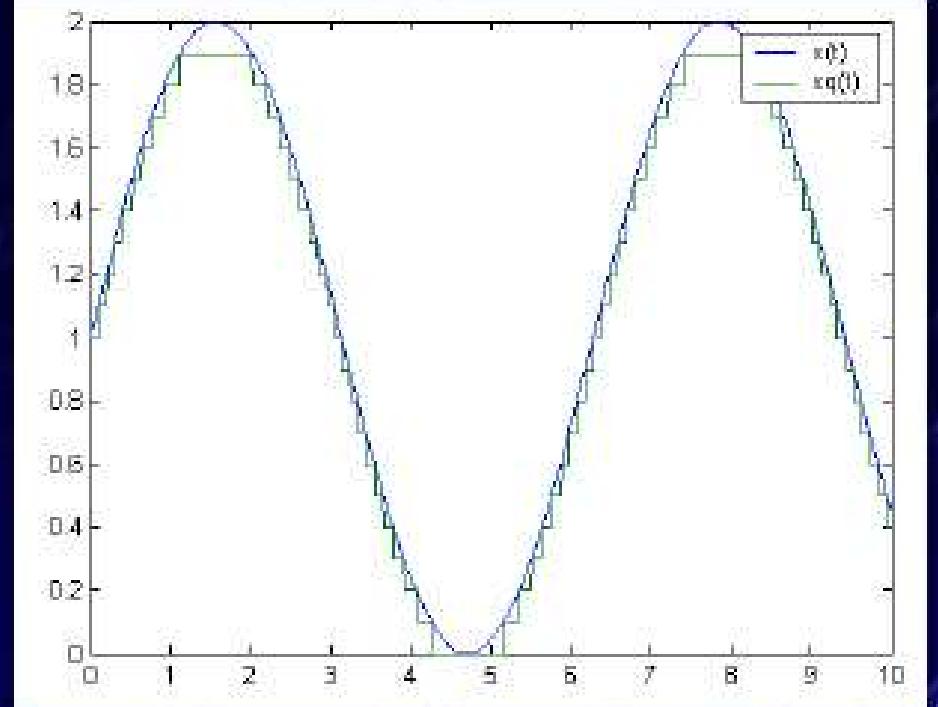
Amostragem: a) 1024×1024 ; b) 512×512 ; c) 256×256 ;
d) 128×128 ; e) 64×64 ; f) 32×32



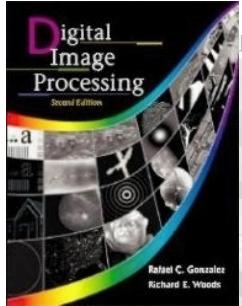
Quantização de sinais 1D



Quantização em 10 bins



Quantização em 20 bins



- no processo de quantização, consideramos que o número de bins é múltiplo de 2, ou seja,

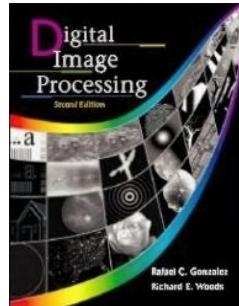
$$L=2^k$$

- assim, o número de bits b necessário para representar a imagem digital é:

$$b=N \times M \times k.$$

Por exemplo, é necessários 1MB para armazenar uma imagem com dimensões 1024 x 1024, utilizando 256 tons de cinza ($M=N=1024$, $k=8$).

- Imagens coloridas: memória x 3



Quantização

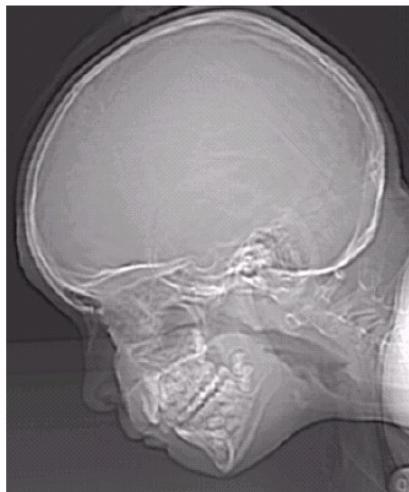
256 tons



128 tons



64 tons



32 tons



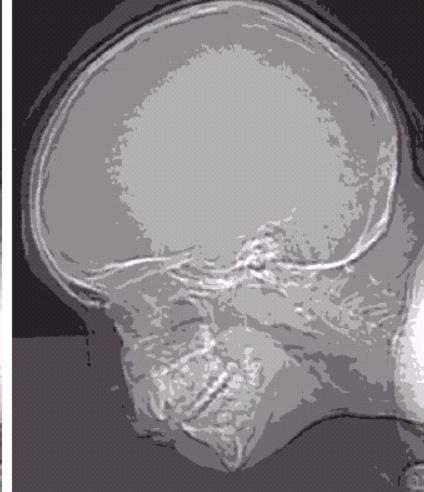
16 tons



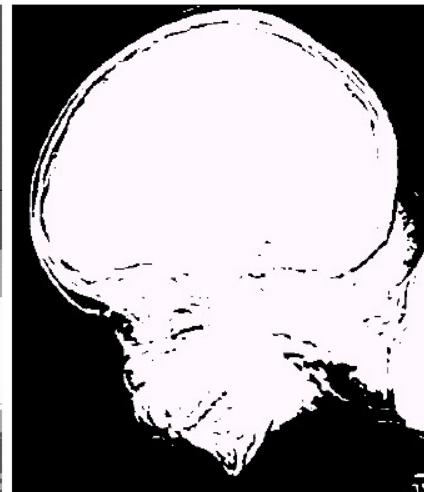
4 tons



8 tons



2 tons



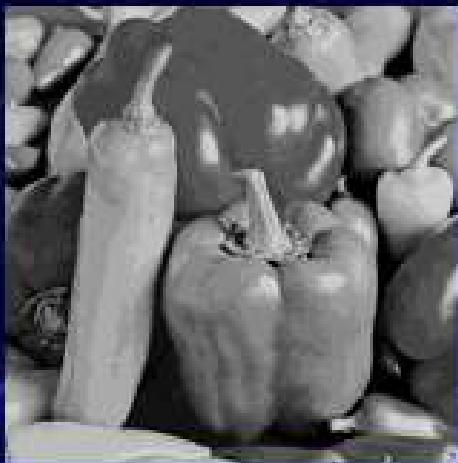
Quantização de imagens (numero de bins = tons de cinza)



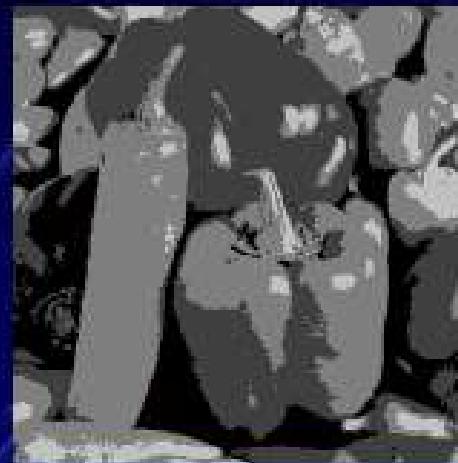
256 tons de cinza



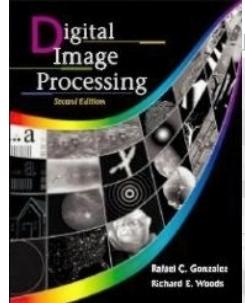
128 tons de cinza



15 tons de cinza



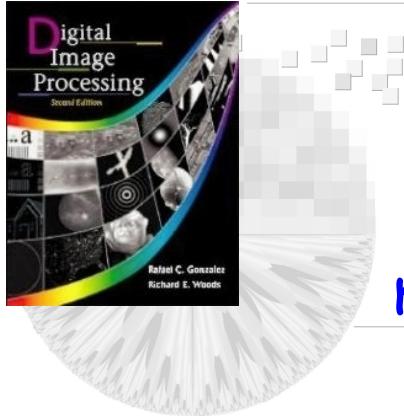
4 tons de cinza



A resolução da amostragem e quantização depende da quantidade de detalhes espaciais e espectrais existente na imagem



- (a) Imagem com um baixo nível de detalhes
- (b) Imagem com nível médio de detalhes
- (c) Imagens com uma grande quantidade de detalhes



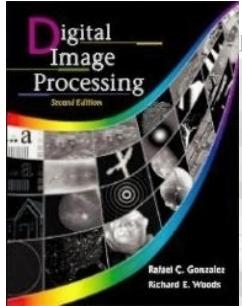
Interpolação de imagem muito usada em tarefas como:

ampliação (zooming) e encolhimento (shrinking),
rotação e correções geométricas

Usa dados conhecidos para estimar valores em locais desconhecidos

Ex. imagem de 500x500 pixels deve ser ampliada para 750x750 pixels

Uma forma de visualizar essa ampliação é criar uma grade imaginária 750x750 com o mesmo espaçamento da imagem original e então encolher essa grade até que ela se enquadre sobre a imagem original



Interpolação de imagem

Para realizar a atribuição de nível de intensidade para qualquer ponto na grade de 750x750, olha-se o pixel mais próximo na imagem original e atribui a sua intensidade para o novo pixel

Quando tivermos realizada a atribuição de todos os 750x750 pixels expande-se a grade para o tamanho original obtendo a imagem ampliada

Este método é chamado de interpolação de vizinho mais próximo (**nearest neighbor interpolation**)



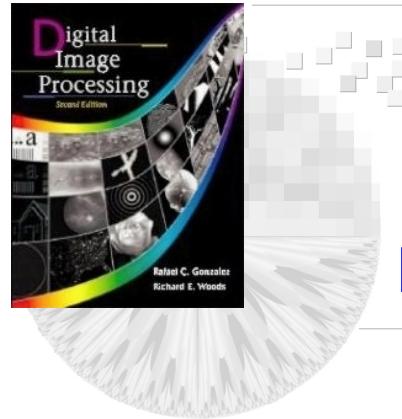
O método do vizinho mais próximo é simples mas, produz efeitos indesejáveis (distorção severa em arestas retas)

Uma abordagem melhor é a interpolação bilinear, que usa os quatro vizinhos mais próximos para estimar a intensidade numa dada posição

Seja $v(x,y)$ o valor da sua intensidade na posição (x,y)

Para a interpolação bilinear, o valor atribuído é obtido usando a equação $v(x,y) = (v(x-1,y) + v(x+1,y) + v(x,y-1) + v(x,y+1)) / 4$

O resultado é melhor que a interpolação de vizinho mais próximo, com um incremento no custo computacional



Interpolação de pixels

Duplicações ficam mais fáceis de implementar

cada pixel [1x1]

gera [2x2] = 4 pixels

1	4	...	6
2	7	...	9
...
9	11	...	2

Imagen
original

Vizinho mais
próximo

1	1	4	4	6	6
1	1	4	4	6	6
2	2	7	7	9	9
2	2	7	7	9	9
...
...
9	9	11	11	2	2
9	9	11	11	2	2



Interpolação de pixels

Duplicações ficam mais fáceis de implementar

cada pixel [1x1]

gera [2x2] = 4 pixels

Interpolação Bilinear

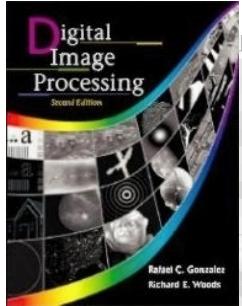
1	a	4	b	8	...	6	
e	f	g	h				
2	c	7	d	4	...	9	
...	
...	
...	
9		11		2	

Imagen
original

1	4	...	6
2	7	...	9
...
9	11	...	2

Nas linhas ímpares:
 $a=(1+4)/2$ $b=(4+8)/2$...
 $c=(2+7)/2$ $d=(7+4)/2$...
.....

Todas as colunas:
 $e=(1+2)/2$...
 $f=(a+c)/2$...
 $g=(4+7)/2$...



Interpolação de pixels

Imagen de 128x128, 64x64 e 32x32 aumentada para 1024x1024

Replicação
de pixels



Interpolação
linear





interpolação bicúbica

Envolve dezesseis vizinhos mais próximos de um ponto.

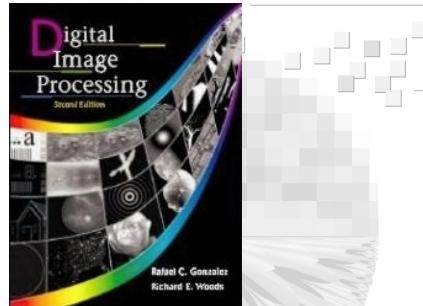
O valor da intensidade atribuído ao ponto (x,y) é obtido usando:

$$v(x, y) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 a_{ij} x^i y^j$$

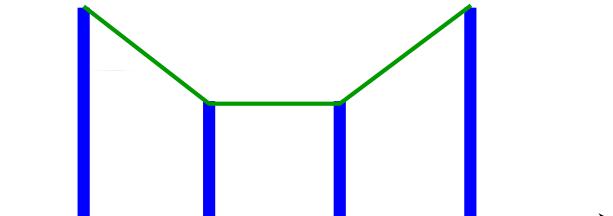
onde os dezesseis coeficientes são determinados de dezesseis equações em dezesseis incógnitas que podem ser escritas usando os dezesseis vizinhos mais próximos do ponto (x,y) .

Geralmente a interpolação bicúbica preserva mais detalhes que a interpolação bilinear

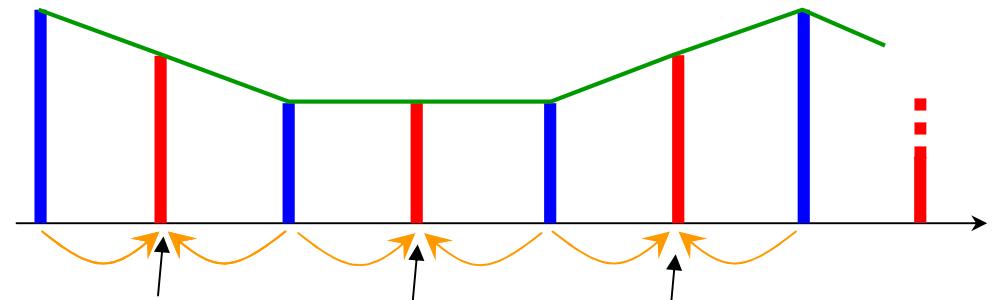
Interpolação bicúbica é o padrão usado em programas comerciais como Adobe Photoshop e Corel Photopaint



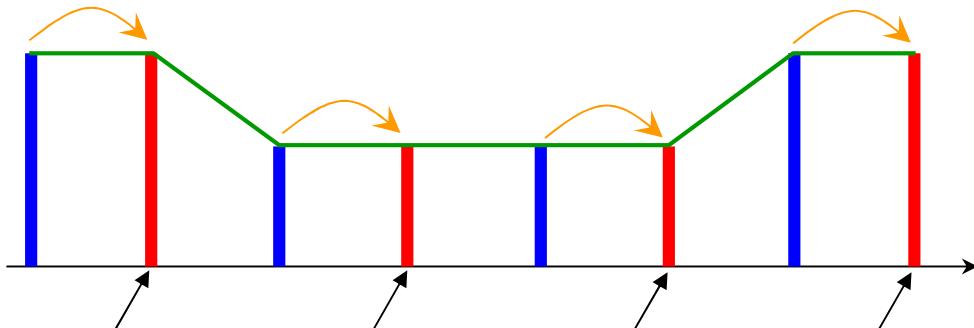
Interpolação 1D Graficamente



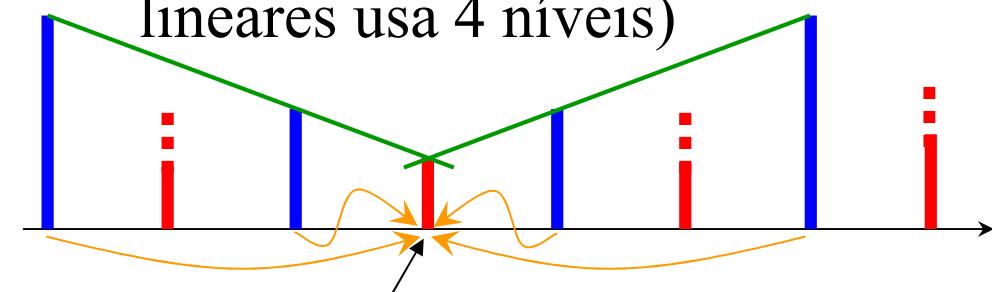
sinal original



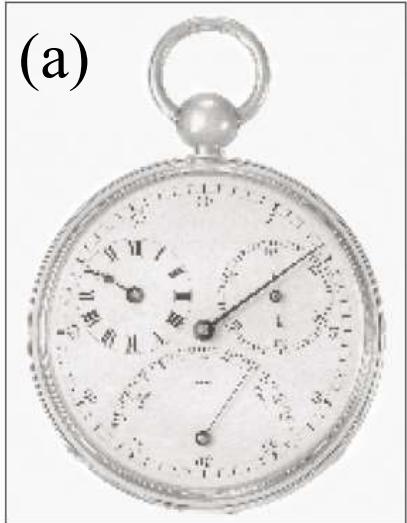
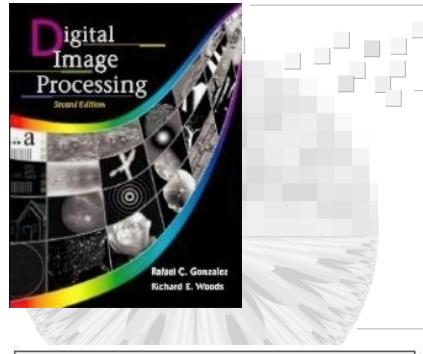
interpolação linear (nível igual média de 2 níveis)



vizinho mais próximo (nível igual ao anterior → usa apenas 1 nível)



interpolação cúbica (nível obtido com a interseção entre duas lineares usa 4 níveis)

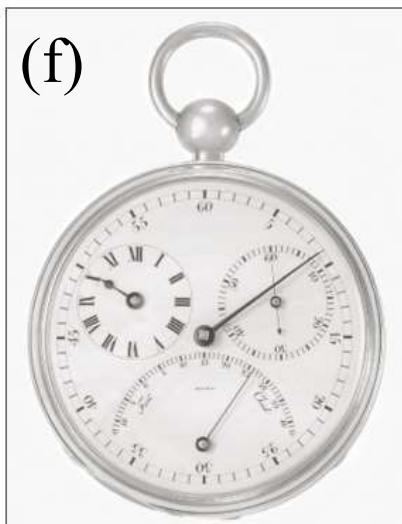
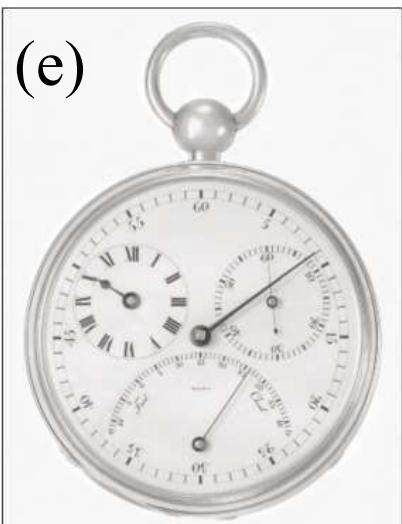
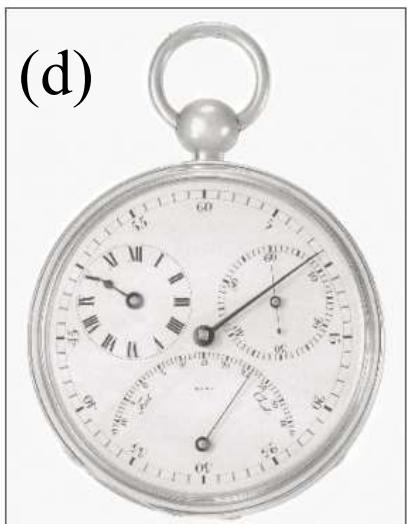


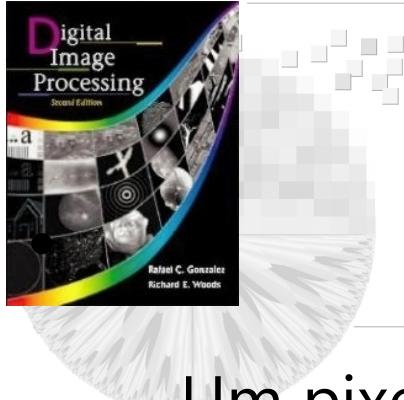
(a) imagem reduzida a 72 dpi e expandida de volta a 3692x 2812 usando interpolação vizinho mais próximo

(b) Imagem encolhida e expandida usando interpolação bilinear

(c) Como em (b) mas usando interpolação bicúbica

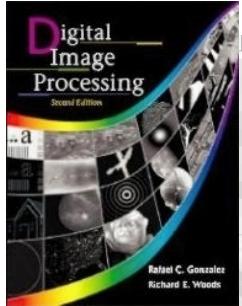
(d) a (f) mesma sequência, mas encolhendo para 150 dpi ao invés de 72 dpi





Relações entre pixels

- Um pixel p numa coordenada (x,y) tem quatro vizinhos cujas coordenadas são:
 - $(x+1,y)$, $(x-1,y)$, $(x,y+1)$ e $(x,y-1)$
- Esse conjunto de pixels é chamado de vizinhança-4 de p , denotado por $N_4(p)$
- Os quatro vizinhos na diagonal de p tem coordenadas:
 - $(x+1,y+1)$, $(x+1,y-1)$, $(x-1,y+1)$ e $(x-1,y-1)$
- E são denotados por $N_D(p)$
- O conjunto de $N_4(p)$ e $N_D(p)$ é chamado de vizinhança-8, e denotado por $N_8(p)$



Adjacência de pixels

-Vizinhança-4 $\rightarrow N_4(p)$

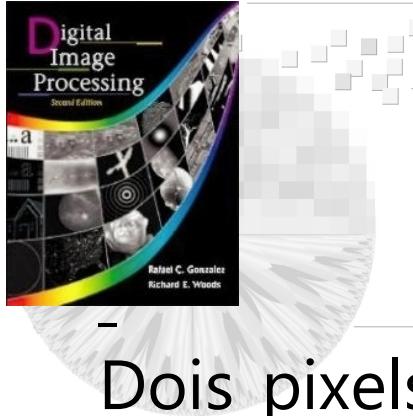
	a	
d	p	b
	c	

-Vizinhança-8 $\rightarrow N_8(p)$

a	b	c
d	p	e
f	g	h

- Vizinhança-d $\rightarrow N_D(p)$

a		b
	p	
d		c



Conectividade

Dois pixels são conectados se: 1) eles estão conectados (vizinhança-x) de alguma maneira e, 2) se seus níveis de cinza satisfazem um certo critério de similaridade, definido por um conjunto V dos valores de cinza, por exemplo, $V=\{33,\dots,64\}$ ou no caso binário, $V=\{1\}$

Três tipos de conectividade

Conectividade-4 : dois pixels p e q , assumindo valores em V , são conectados-4 se q está no conjunto $N_4(p)$

Conectividade-8 : dois pixels p e q , assumindo valores em V , são conectados-8 se q está no conjunto $N_8(p)$



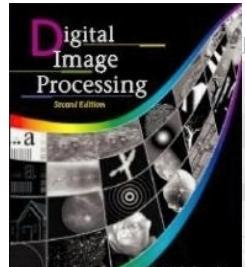
Três tipos de conectividade

Conectividade- m ou conectividade mista : dois pixels p e q , assumindo valores em V , são conectados- m se:

- i) q está no conjunto $N_4(p)$ ou
- ii) q está no conjunto $N_D(p)$ e o conjunto $N_4(p) \cap N_4(q)$ é vazio

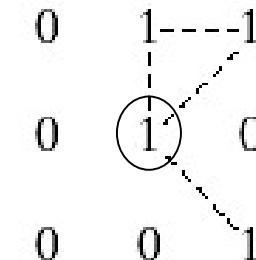
A conectividade mista é uma modificação da conectividade-8, proposta para eliminar as conexões com múltiplos caminhos, que ocorrem com a conectividade-8

Resumo: Se está na vizinhança-4, então é conectado-m
Se está na Vizinhança-D, será conectado-m se não existir um vizinho-4 de p e q em comum, formando um caminho duplo



conectados-8 conectados-m

0	1	1
0	1	0
0	0	1



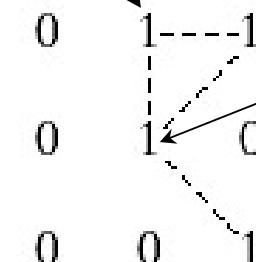
0	1	1
0	1	0
0	0	1

- a) Arranjo de 8 pixels; b) pixels na vizinhança-8 do pixel ao centro;
c) vizinhança-m

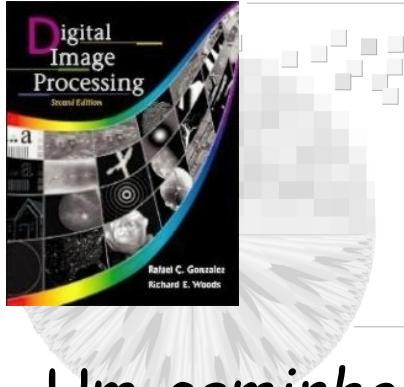
Pois $N_4(p) \cap N_4(q)$ não é vazio
por causa deste elemento

p não é conectado
a q

0	1	1
0	1	0
0	0	1



0	1	1
0	1	0
0	0	1



Um caminho digital ou curva digital de um pixel p com coordenadas (x,y) a um pixel q com coordenadas (s,t) é uma sequência de pixels distintos com coordenadas

$$(x_0, y_0), (x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$$

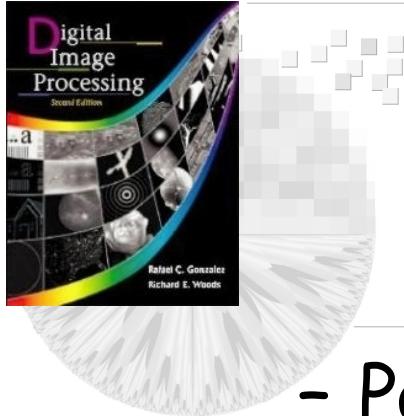
onde $(x_0, y_0) = (x, y)$ e $(x_n, y_n) = (s, t)$

e pixels (x_i, y_i) e (x_{i-1}, y_{i-1}) são adjacentes para $1 \leq i \leq n$

Neste caso, n é o comprimento do caminho

Se $(x_0, y_0) = (x_n, y_n)$, o caminho é fechado.

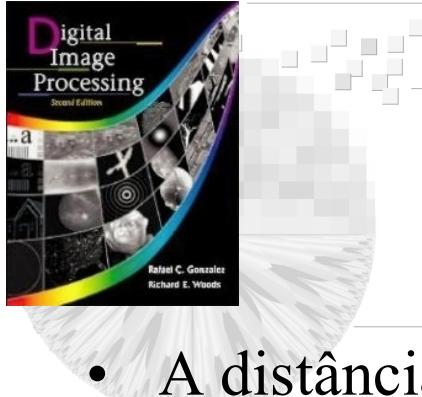
Pode-se definir caminho-4, caminho-8, ou caminho-m, dependendo do tipo de adjacência especificada



Medidas de distância

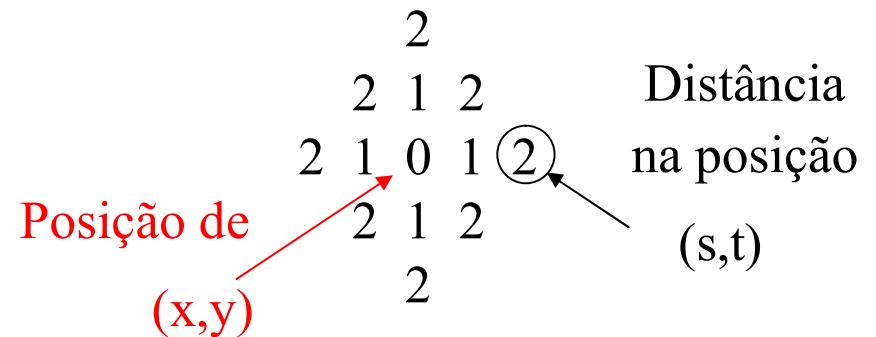
- Para pixels p , q e z com coordenadas (x,y) , (s,t) e (v,w) , respectivamente, D é uma função distância ou métrica se:
 - (a) $D(p,q) \geq 0$ ($D(p,q) = 0$ iff $p = q$),
 - (b) $D(p,q) = D(q,p)$, e
 - (c) $D(p,z) \leq D(p,q) + D(q,z)$.
- A distância euclidiana entre p e q é definida por

$$D_e(p,q) = \left[(x-s)^2 + (y-t)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$



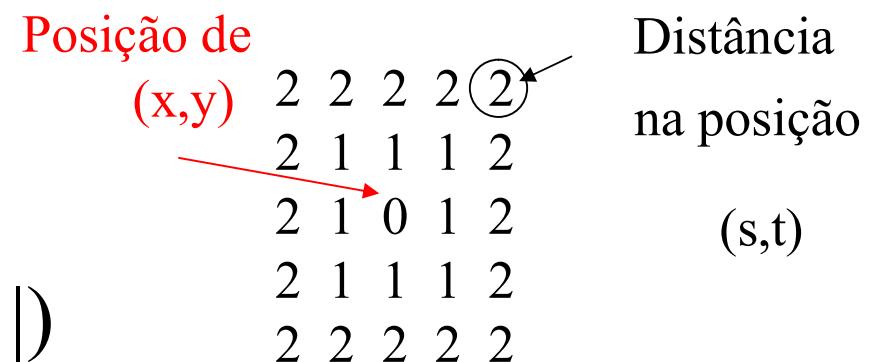
- A distância D4 (*city-block distance*) entre p e q é definida por:

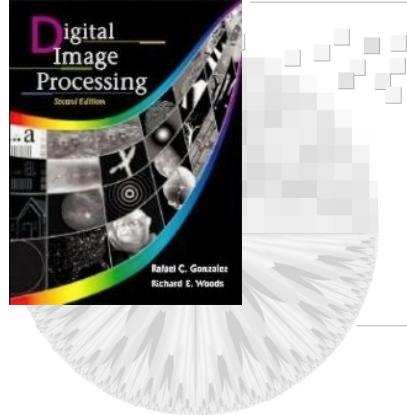
$$D_4(p, q) = |x - s| + |y - t|$$



- A distância D8 (*chessboard distance*) é definida por:

$$D_8(p, q) = \max(|x - s|, |y - t|)$$





Medidas de distância

$\sqrt{2}$	1	$\sqrt{2}$
1	0	1
$\sqrt{2}$	1	$\sqrt{2}$

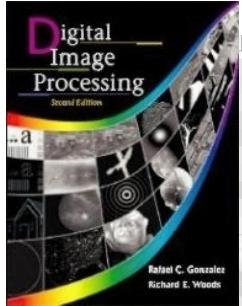
Distância euclidiana

Distância D_4 ou City-block

4	3	2	3	4
3	2	1	2	3
2	1	0	1	2
3	2	1	2	3
4	3	2	3	4

Distância D_8 ou Xadrez

2	2	2	2	2
2	1	1	1	2
2	1	0	1	2
2	1	1	1	2
2	2	2	2	2



•Operações aritméticas sobre imagens:

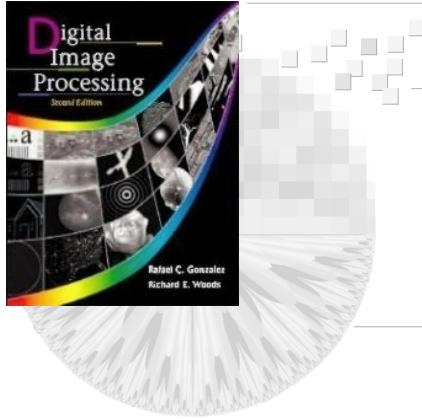
$$s(x,y) = f(x,y) + g(x,y)$$

$$d(x,y) = f(x,y) - g(x,y)$$

$$p(x,y) = f(x,y) \times g(x,y)$$

$$v(x,y) = f(x,y) \div g(x,y)$$

Onde as operações são feitas entre os pixels correspondentes em f e g para $x = 0,1,2,\dots,M-1$ e $y = 0,1,2,\dots,N-1$,
onde M e N são os tamanhos de linha e coluna das imagens



Operações aritméticas

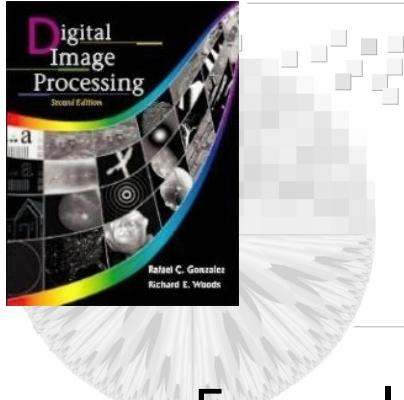
Adição $\rightarrow p + q$ { fazer a média de imagens e reduzir ruído}

Subtração $\rightarrow p - q$ { remover fundo, ou detectar objetos que estão
em uma imagem e não estão na outra}

Multiplicação $\rightarrow p \cdot q$ { corrigir sombras e níveis de cinzas irregulares}

Divisão $\rightarrow p / q$ { corrigir sombras e níveis de cinzas irregulares}

Podem ser aplicadas em imagens binárias e em tons de cinza

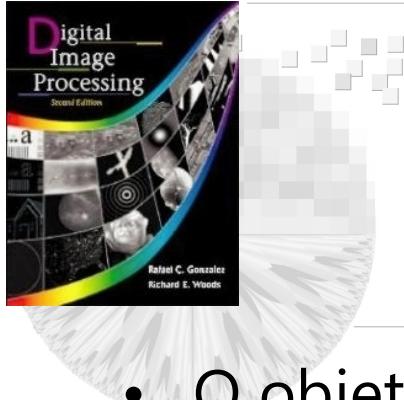


Adição

- Exemplo: seja $g(x,y)$ uma imagem corrompida formada com a adição de ruído $h(x,y)$ a uma imagem sem ruído $f(x,y)$:

$$g(x,y) = f(x,y) + h(x,y)$$

onde presume-se que a cada par de coordenadas (x,y) o ruído não esteja correlacionado e tem média zero.



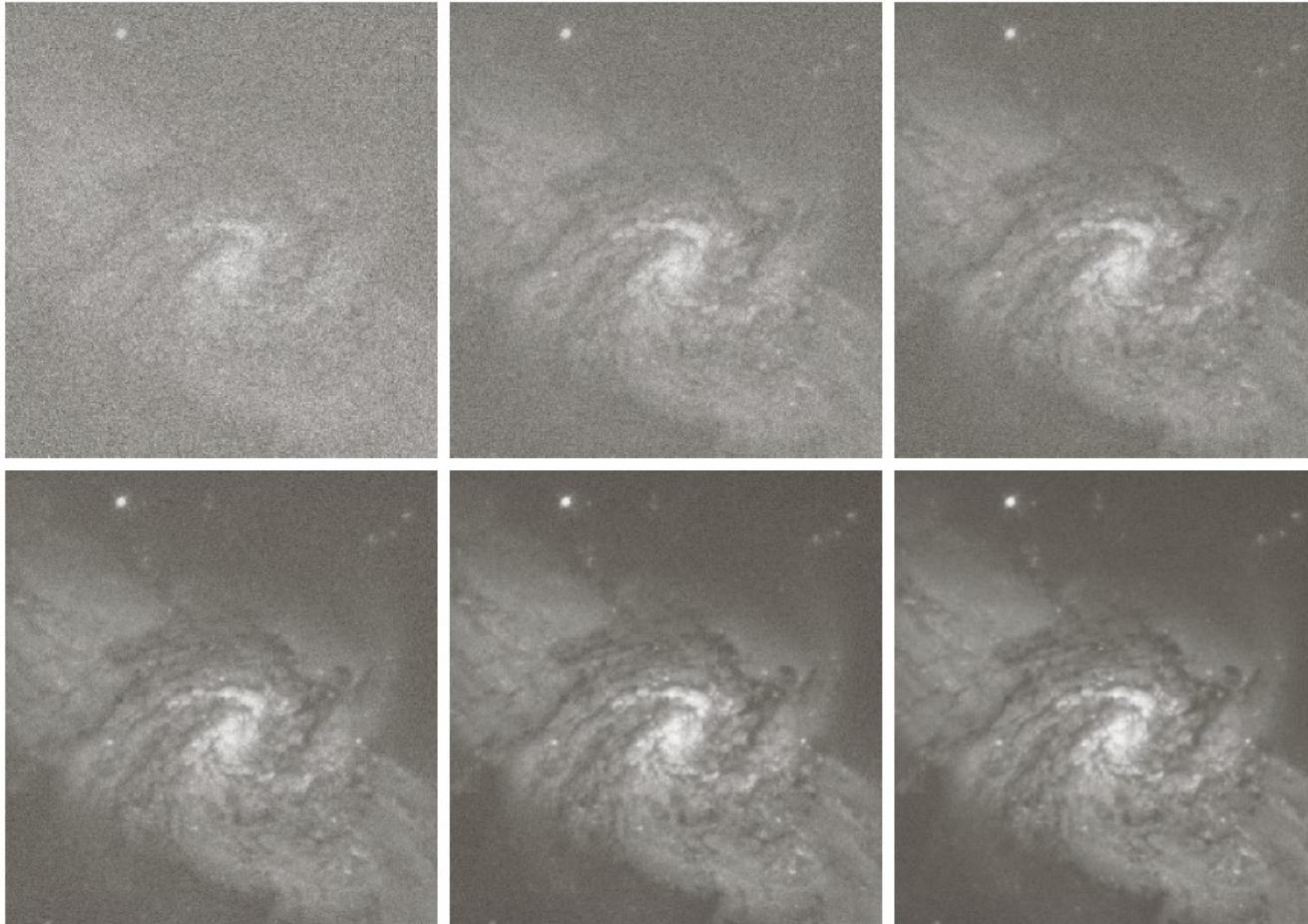
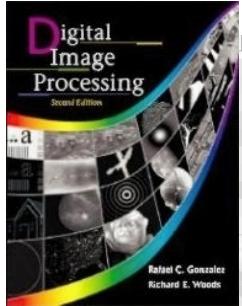
Adição

- O objetivo do procedimento seguinte é reduzir o ruído somando um conjunto de imagens ruidosas, $\{g_i(x,y)\}$, e dividindo o resultado pelo número de imagens somadas
Essa é uma técnica muito usada para o melhorar imagens

$$\bar{g}(x, y) = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K g_i(x, y)$$

$$E\{\bar{g}(x, y)\} = f(x, y)$$

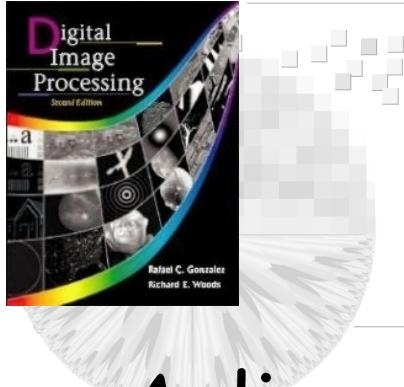
- Na prática as imagens $g_i(x,y)$ devem ser alinhadas (registradas) para evitar a introdução de borramento (blurring)



(a) Imagem da galáxia corrompida por ruído Gaussiano aditivo

(b) – (f) Resultado da média com 5, 10, 20, 50 e 100 imagens ruidosas, respectivamente

Quanto mais imagens usadas na média, melhor o resultado, pois a chance de pixels bons em cada posição vai ficando maior

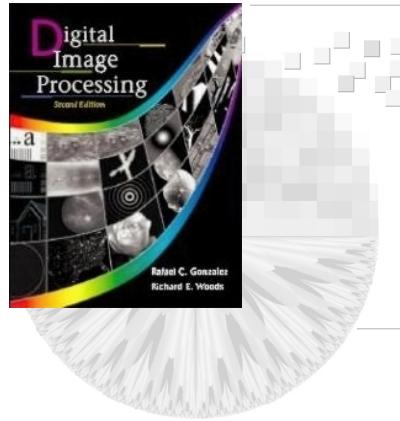


Subtração

Aplicação frequente da subtração de imagens é no melhoramento das diferenças em imagens.

Exemplo 1: imagem infravermelho da área de Washington, D.C.

(a seguir)

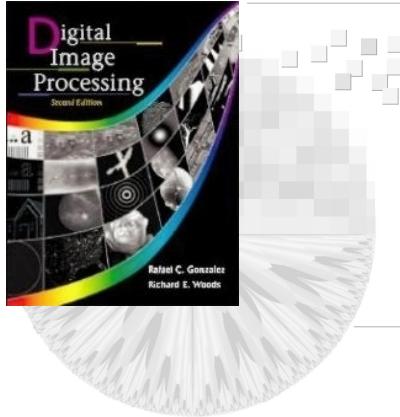


Subtração



- (a) Imagem infravermelho da área de Washington, D.C.
- (b) Imagem obtida zerando o bit menos significativo de todos os pixels em (a)
- (c) Diferença das duas imagens, escalado para o intervalo [0,255]

→ com isto, amplia apenas os detalhes da imagem

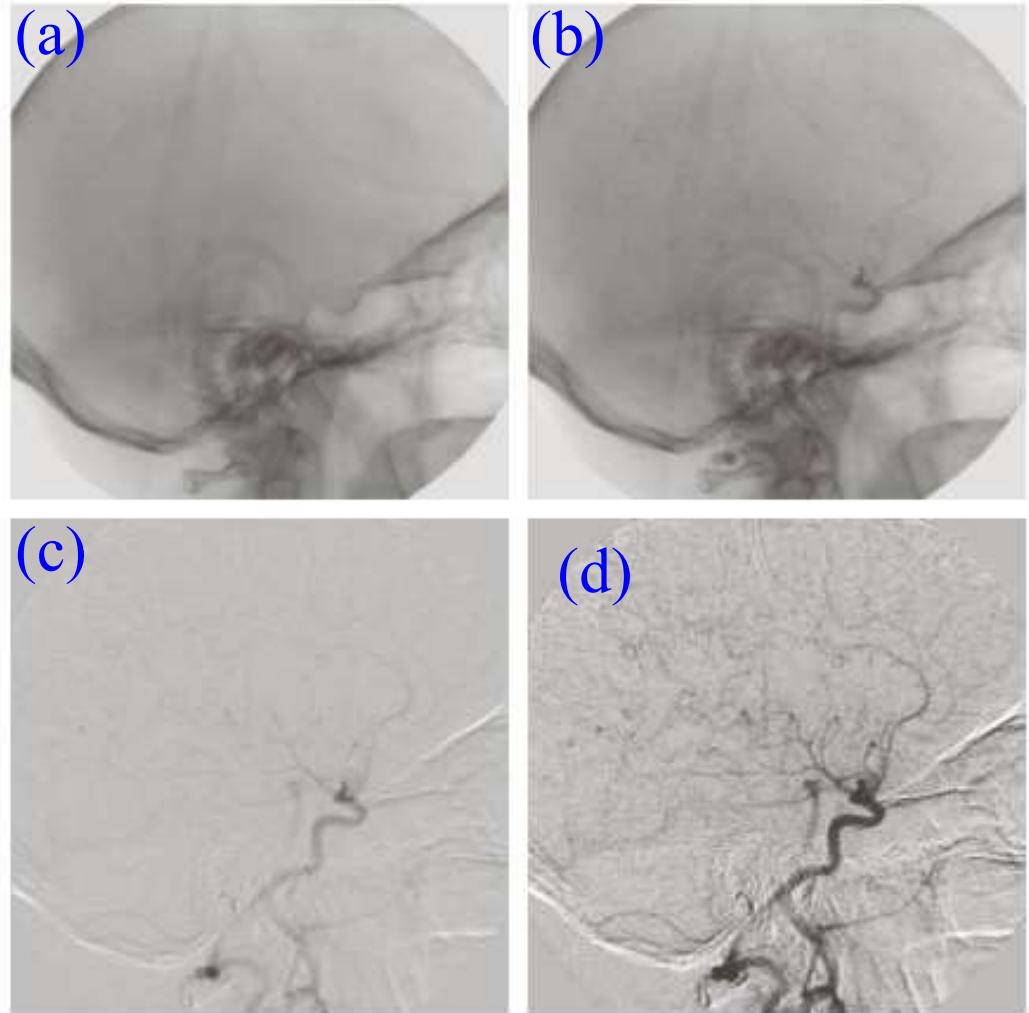


Subtração

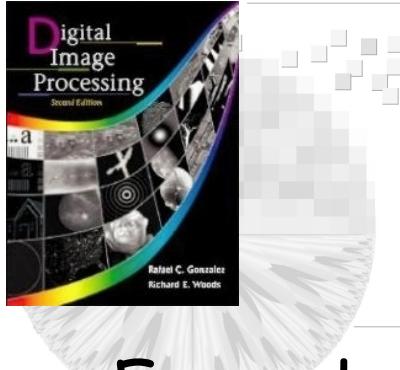
Exemplo 2: radiografia no modo máscara

Angiografia de subtração digital

- (a) Imagem máscara
- (b) Imagem ativa
- (c) Diferença entre (a) e (b)
- (d) Imagem (c) melhorada



- 1-Faz-se uma radiografia
- 2-Insere um contraste na pessoa
- 3-Faz-se uma nova radiografia
- 4-Calcula a diferença (subtração)



Multiplicação

- Exemplo de multiplicação (e divisão) de imagens é na correção de sombreamento

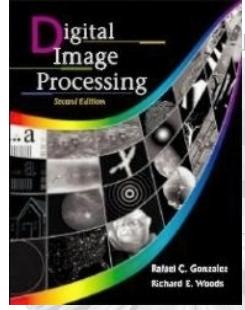
$$g(x,y) = f(x,y) \cdot h(x,y)$$

$f(x,y)$ é a imagem perfeita

$g(x,y)$ é a imagem sombreada

$h(x,y)$ é o padrão de sombreamento

Conhecendo-se $g(x,y)$ e $h(x,y)$, é possível obter a imagem $f(x,y)$ multiplicando $g(x,y)$ pelo inverso de $h(x,y)$



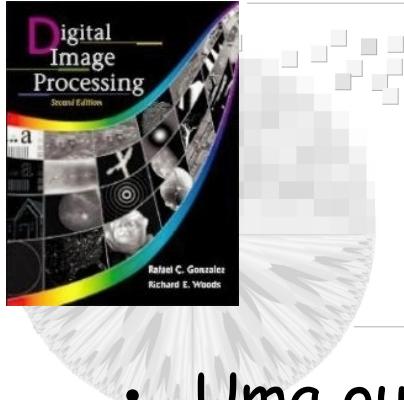
Multiplicação



Correção de sombreamento

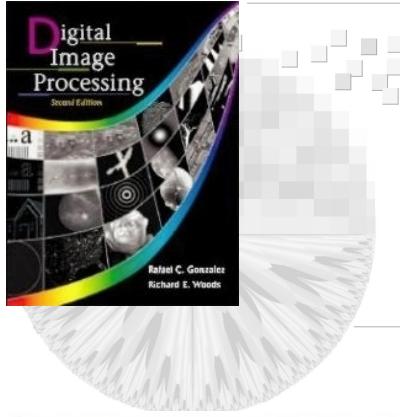
- (a) imagem sombreada de um filamento de tungstênio
- (b) padrão de sombreamento
- (c) produto de (a) pelo recíproco de (b)

Padrão de sombreamento pode ser obtido borrando muito a imagem

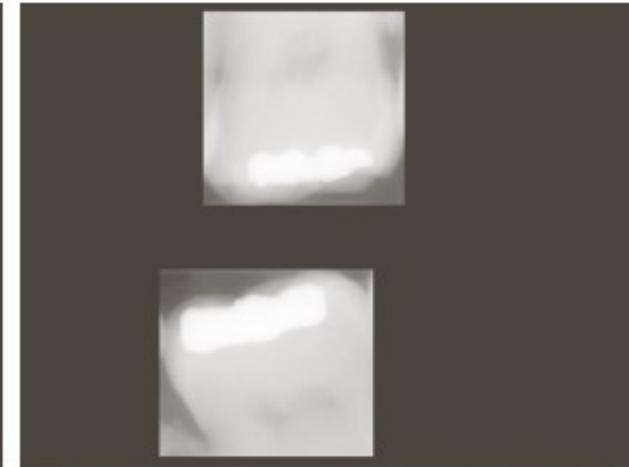


Multiplicação

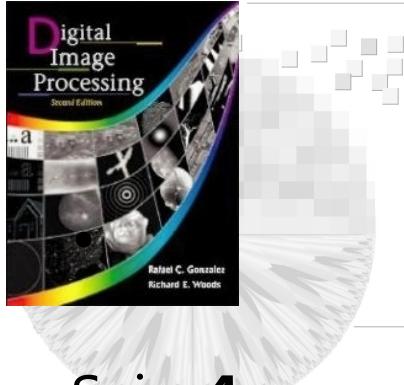
- Uma outra aplicação de multiplicação de imagens é no mascaramento da região de interesse (ROI - Region Of Interest)
- A imagem a ser multiplicada é uma máscara que tem valor 1 na ROI e valor 0 em outras posições.
- Onde tem 1, vai preservar o conteúdo no local
- Onde tem 0, vai eliminar o conteúdo no local



Multiplicação



- (a) Imagem digital de dentes (raios-X)
- (b) máscaras de ROI (Region Of Interest) para isolar os dentes
- (c) produto entre (a) e (b)



Operações lógicas e de conjunto

Seja A um conjunto composto de pares ordenados de números reais. Se $a = (a_1, a_2)$ é um elemento de A , escrevemos $a \in A$

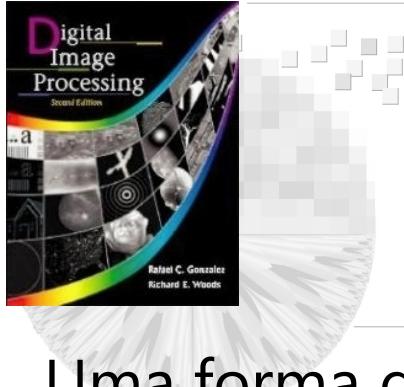
Se a não é um elemento de A escrevemos $a \notin A$

O conjunto sem nenhum elemento é chamado conjunto vazio e é denotado por \emptyset

Um conjunto é especificado usando duas chaves {}, por exemplo:

$$C = \{\omega \mid \omega = -d, d \in D\}$$

onde C é o conjunto de elementos w tais que w são formados multiplicando cada um dos elementos do conjunto D por -1



Uma forma dos conjuntos serem usados em processamento de imagens é permitir que os elementos dos conjuntos sejam coordenadas dos pixels que representam regiões de uma imagem

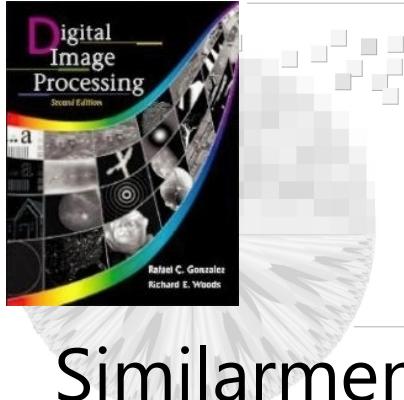
Se cada elemento de A é também elemento de B, então A é dito ser um subconjunto de B, denotado por

$$A \subseteq B \quad \text{ou} \quad A \subset B$$

A união de dois conjuntos A e B, denotada por

$$C = A \cup B$$

é o conjunto de elementos pertencentes a A, B ou ambos



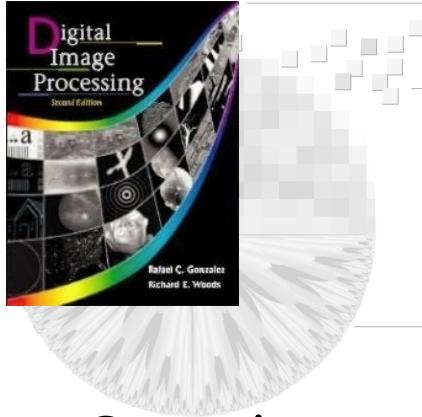
Similarmente, a interseção de dois conjuntos A e B, denotada por

$$D = A \cap B$$

é o conjunto de elementos pertencentes a ambos A e B

Dois conjuntos A e B são ditos disjuntos ou mutuamente exclusivos se eles não tem nenhum elemento em comum, caso em que

$$A \cap B = \emptyset$$



O conjunto universo é o conjunto de todos os elementos numa dada aplicação

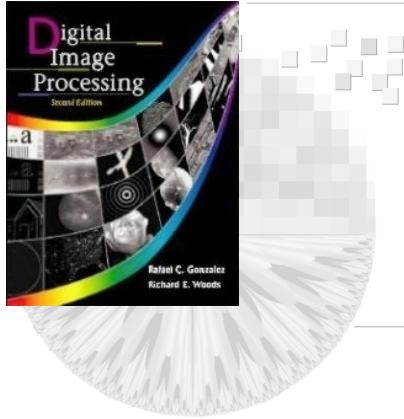
O complemento de um conjunto A é o conjunto de elementos que não estão em A:

$$A^c = \{\omega \mid \omega \notin A\}$$

A diferença de dois conjuntos A e B, denotada $A - B$ é definida por

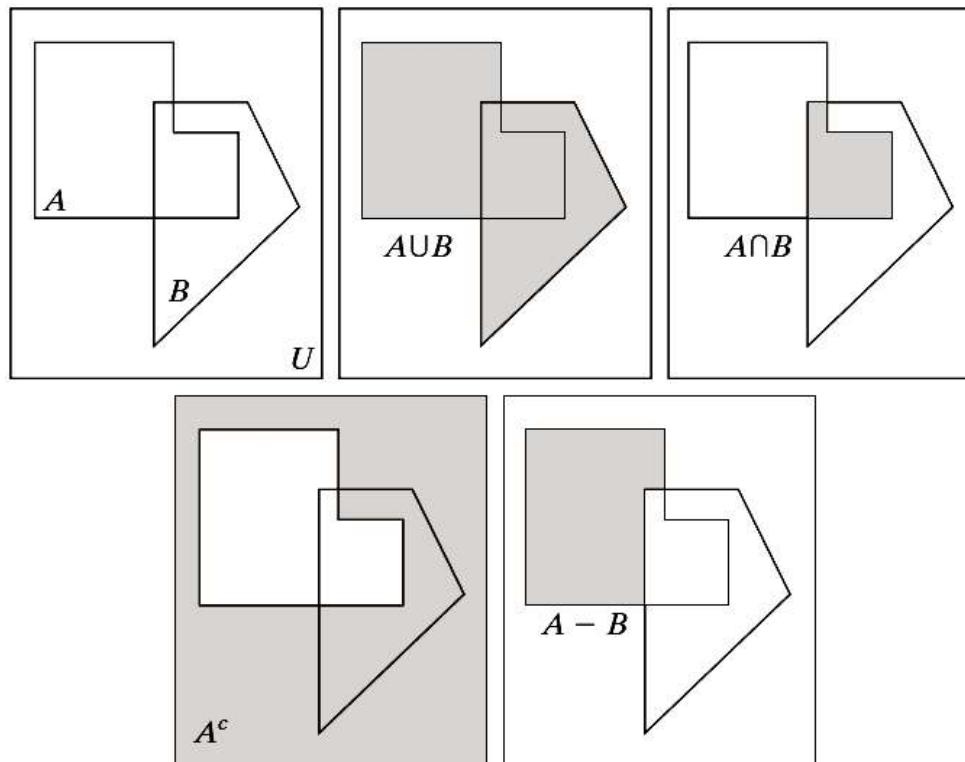
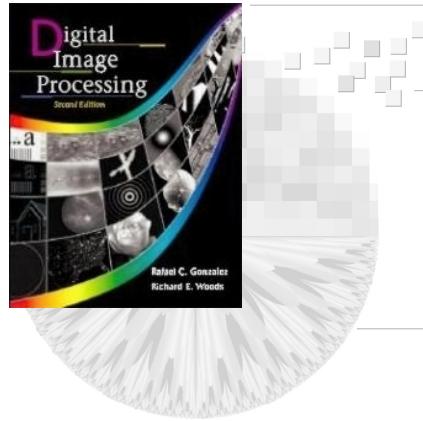
$$A - B = \{\omega \mid \omega \in A, \omega \notin B\} = A \cap B^c$$

Este é um conjunto de elementos que pertencem a A mas não pertencem a B



Pode-se definir A^c em termos de U e estabelecer a equação

$$A^c = U - A$$



(a) Dois conjuntos de coordenadas,
 A e B no espaço 2D

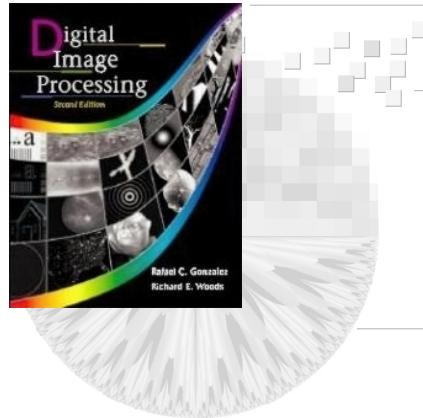
(b) União de A e B

(c) Intersecção de A e B

(d) O complemento de A

(e) A diferença entre A e B

As áreas sombreadas representam
os elementos da operação
resultante

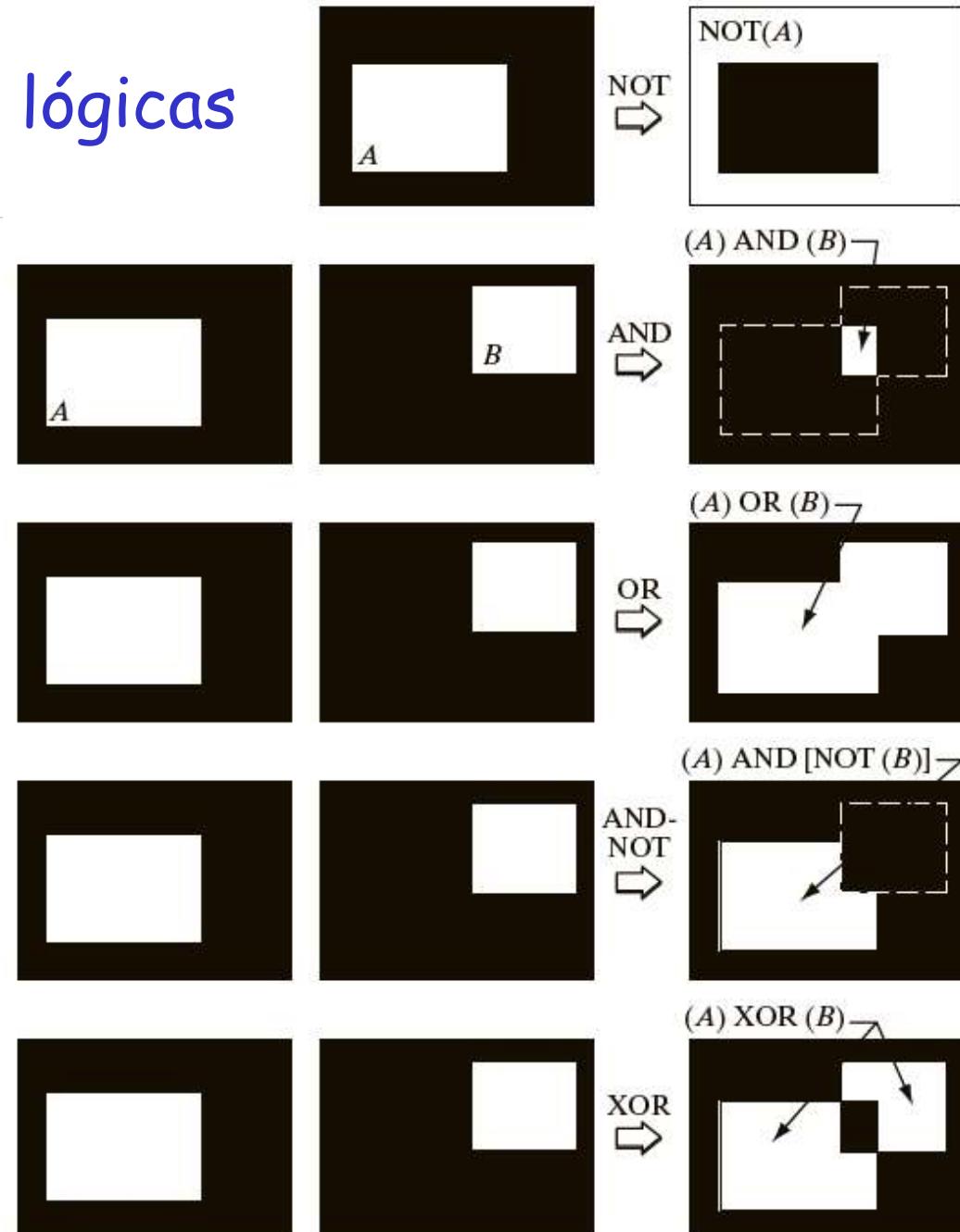


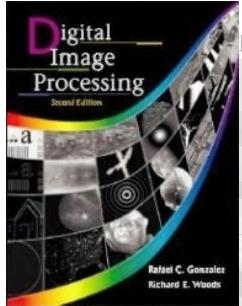
Operações lógicas

Ilustrações de
Operações Lógicas

Frente = branco
fundo = preto

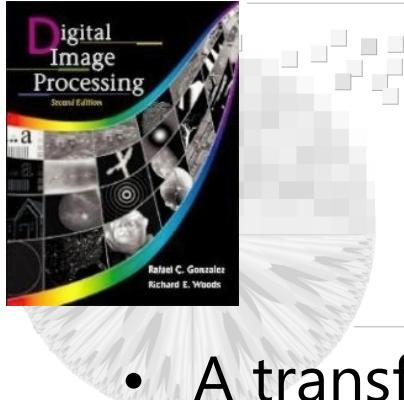
As linhas tracejadas são
mostradas para referência e
não fazem parte do resultado





Transformações espaciais geométricas

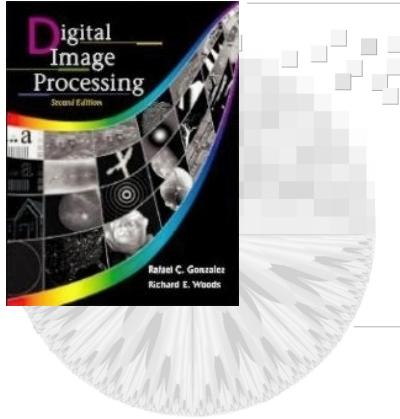
- Transformações geométricas modificam a relação espacial entre os pixels
- Em termos de processamento de imagens digitais a transformação geométrica consiste de duas operações básicas:
 - (1) transformação espacial de coordenadas e
 - (2) interpolação de intensidade que atribui valores de intensidade para pixels transformados



Transformações espaciais geométricas

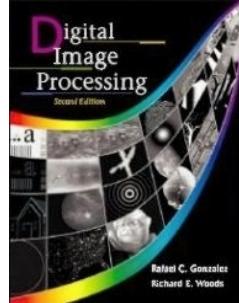
- A transformação de coordenadas pode ser expressa por
 - $(x,y) = T \{(v,w)\}$
 - onde (v,w) são as coordenadas do pixel na imagem original e (x,y) são as coordenadas do pixel correspondente na imagem transformada.
 - Uma das transformações mais comum é chamada transformada afim, que tem a forma:

$$\begin{bmatrix} x & y & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v & w & 1 \end{bmatrix} T = \begin{bmatrix} v & w & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & 0 \\ t_{21} & t_{22} & 0 \\ t_{31} & t_{32} & 1 \end{bmatrix}$$



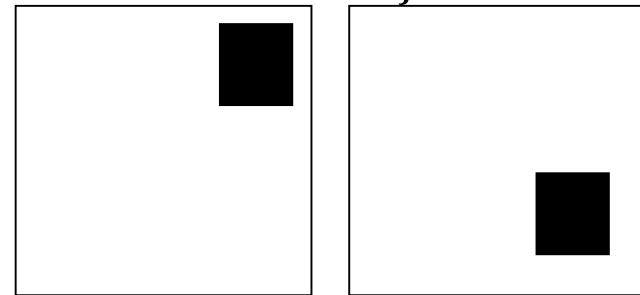
Transformadas afins

Transformation Name	Affine Matrix, T	Coordinate Equations	Example
Identity	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = v$ $y = w$	
Scaling	$\begin{bmatrix} c_x & 0 & 0 \\ 0 & c_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = c_x v$ $y = c_y w$	
Rotation	$\begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = v \cos \theta - w \sin \theta$ $y = v \cos \theta + w \sin \theta$	
Translation	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ t_x & t_y & 1 \end{bmatrix}$	$x = v + t_x$ $y = w + t_y$	
Shear (vertical)	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ s_v & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = v + s_v w$ $y = w$	
Shear (horizontal)	$\begin{bmatrix} 1 & s_h & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = v$ $y = s_h v + w$	

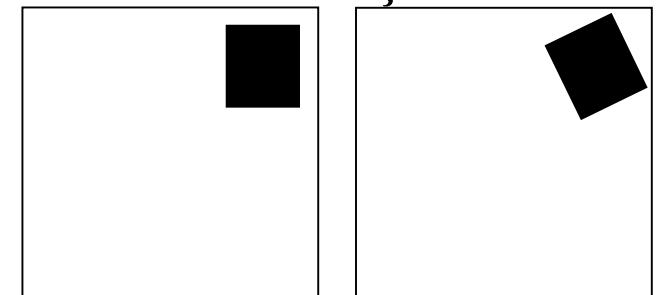


Operações Geométricas

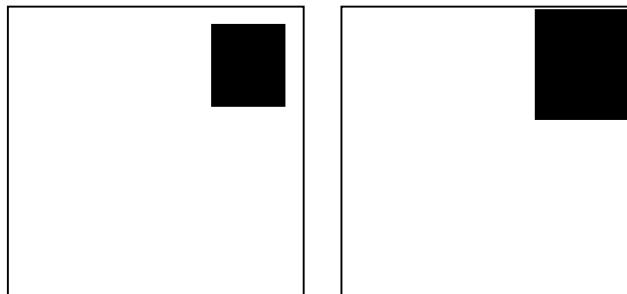
Translação



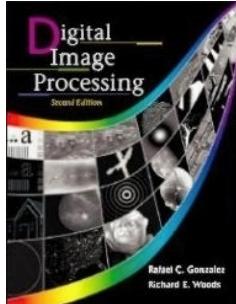
Rotação



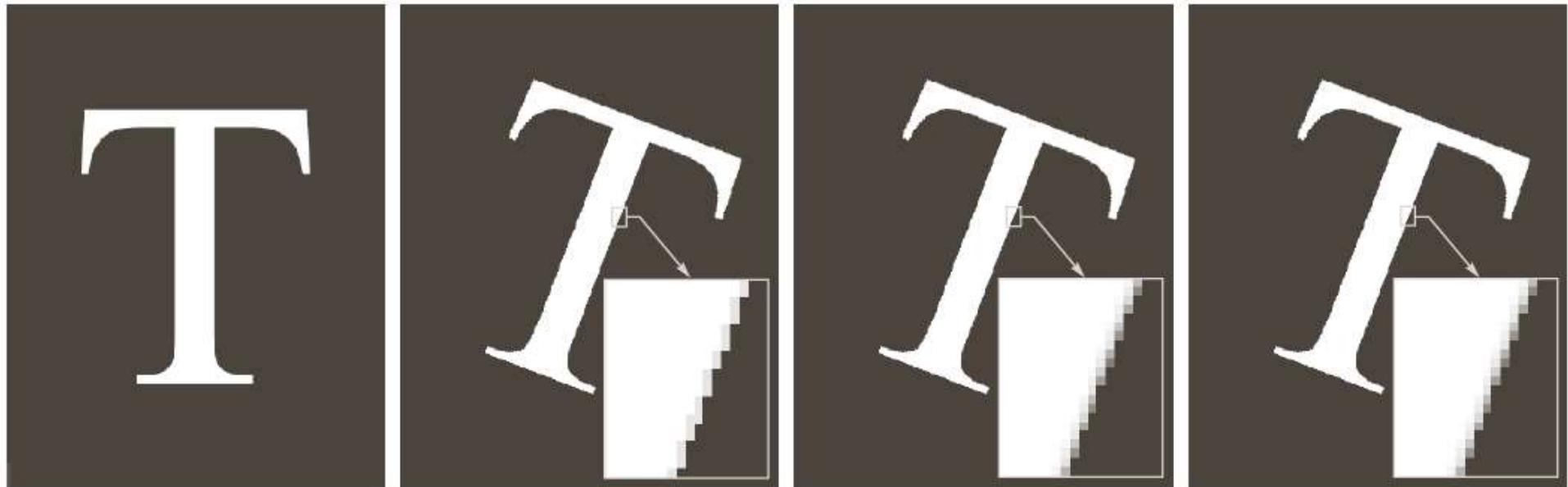
Escala



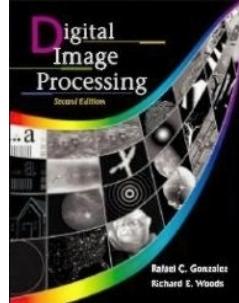
Nestas operações podem aparecer 'buracos' nas imagens resultados, o que pode ser corrigido com as técnicas de interpolação ou replicação de pixels



Algumas operações causam alguns problemas,
na hora de encaixar os pixels



- (a) Imagem de 300 dpi da letra T
- (b) Imagem rotacionada 21° sentido horário usando interpolação de vizinho mais próximo
- (c) Imagem rotacionada 21° usando interpolação bilinear
- (d) Imagem rotacionada 21° usando interpolação bicúbica a seção ampliada mostra detalhes da borda para as três abordagens

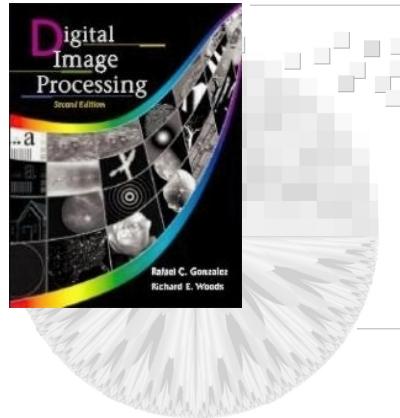


Algumas operações causam alguns problemas, na hora de encaixar os pixels

Rotação de 30° feita no Paint Shop Pro



O programa cria uma área preta ao redor, para acomodar a imagem



Operações Geométricas

Operações Geométricas

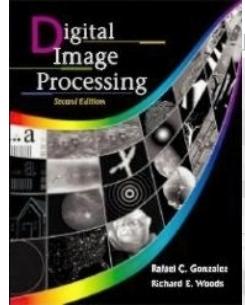
EXPANSÃO E CONTRAÇÃO

Uma transformação $T: U \subset \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^2$ é uma *expansão*, se

$$|T(X) - T(Y)| \geq \lambda |X - Y|, \quad \forall X, Y \in U, \text{ com } \lambda > 1$$

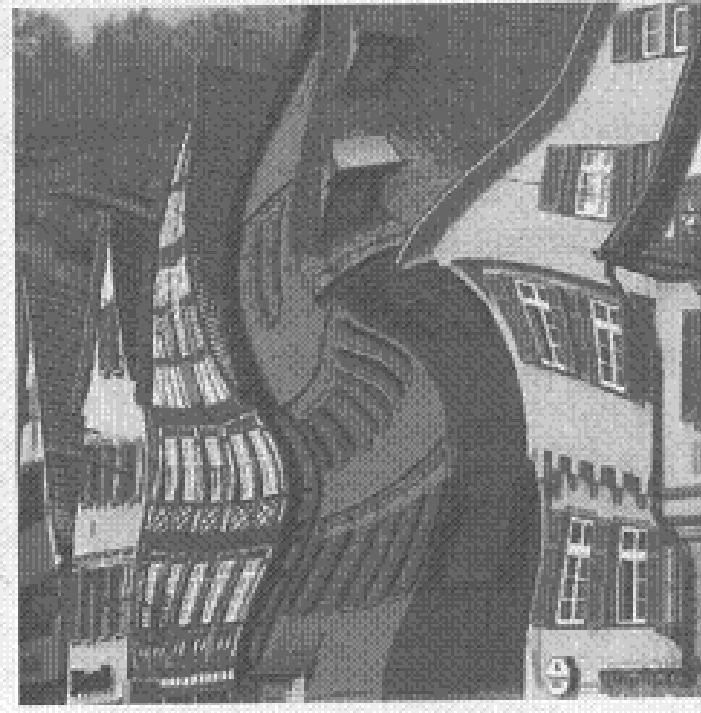
T é uma *contração*, se

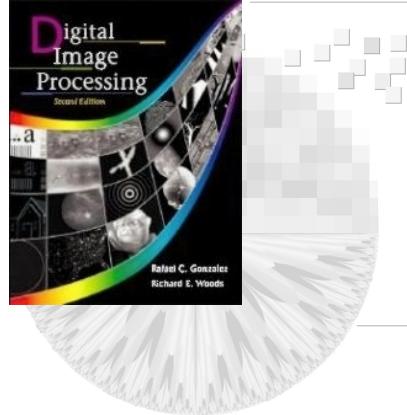
$$|T(X) - T(Y)| \leq \lambda |X - Y|, \quad \forall X, Y \in U, \text{ com } \lambda < 1$$



Operações Geométricas

Quando se faz expansão em algumas regiões e contração em outras, obtém-se um **warping**

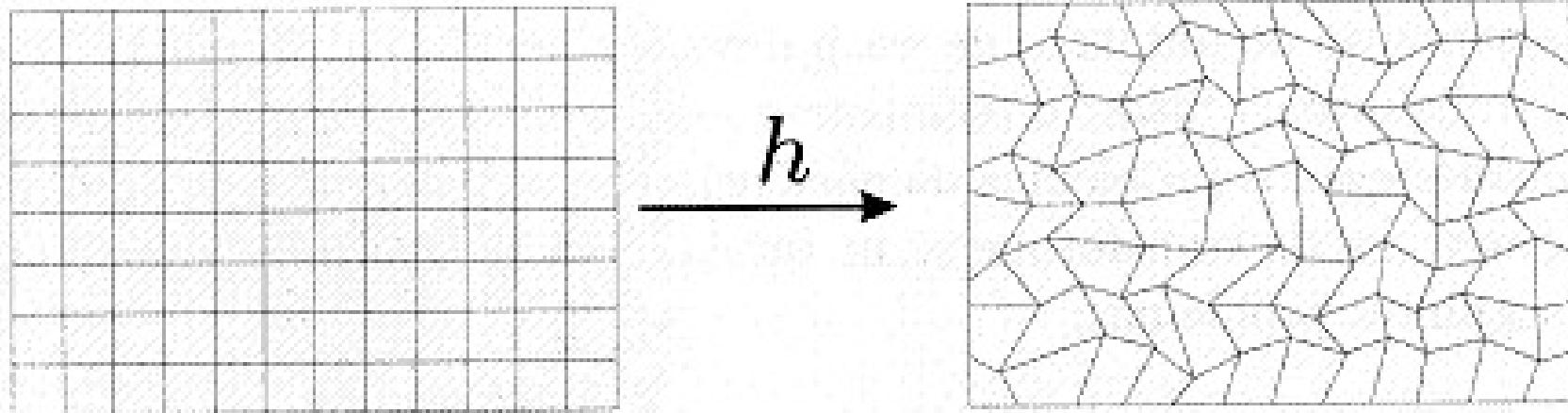


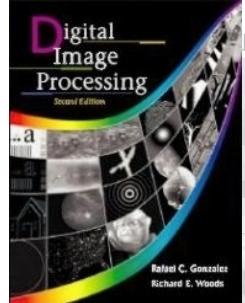


Operações Geométricas

Especificação de warping

O efeito geralmente é controlado pelo usuário, que define pontos de controle da transformação a ser realizada

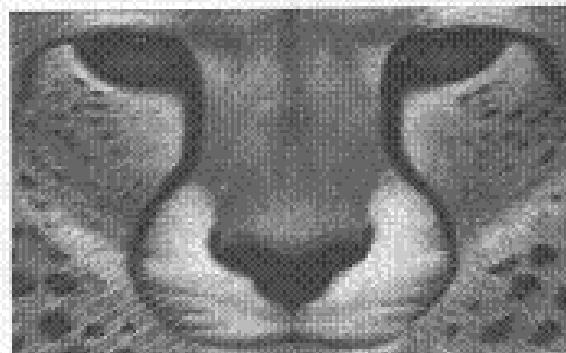




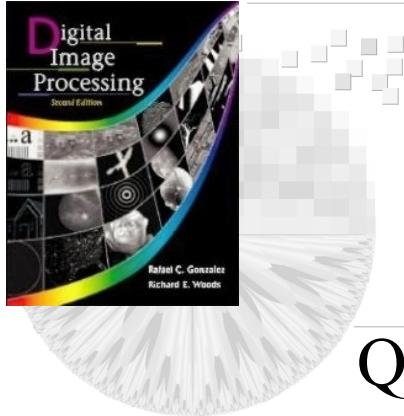
Ajustes de cor ou brilho

Os filtros de amplitude são bastante utilizados para se obter efeitos de transição entre duas imagens. Um exemplo clássico desse fato é a operação de “cross-dissolve”, que transforma o gamute de uma imagem f , no gamute de uma imagem g , dada através de uma seqüência de interpolações lineares do espaço de cor. Mais precisamente, temos um conjunto de transformações dependendo da variável t ,

$$h_t(x, y) = (1 - t)f(x, y) + tg(x, y),$$

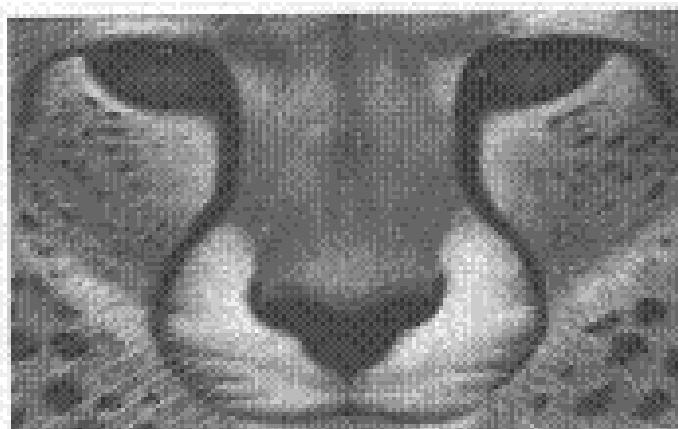


Dissolve

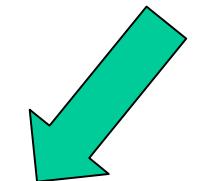


Operações Geométricas

Quando se realiza as duas operações conjuntamente (espacial e radiométrica), obtém-se um Morphing

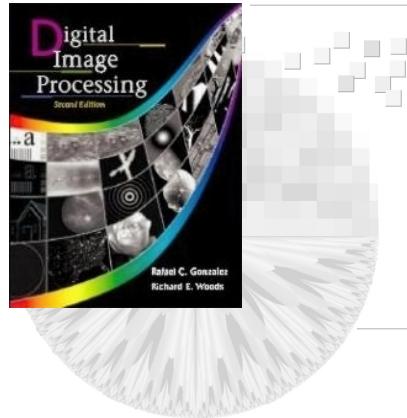


Morphing



Dissolve





Uma sequência de
imagens de Morphing, 2
dando peso maior
para a moça e, ir
aumentando o peso
da onça

1



2



3



4



5



6

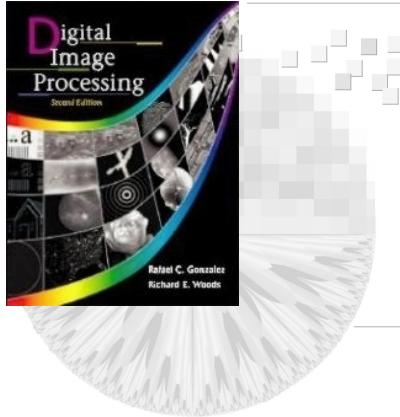


7



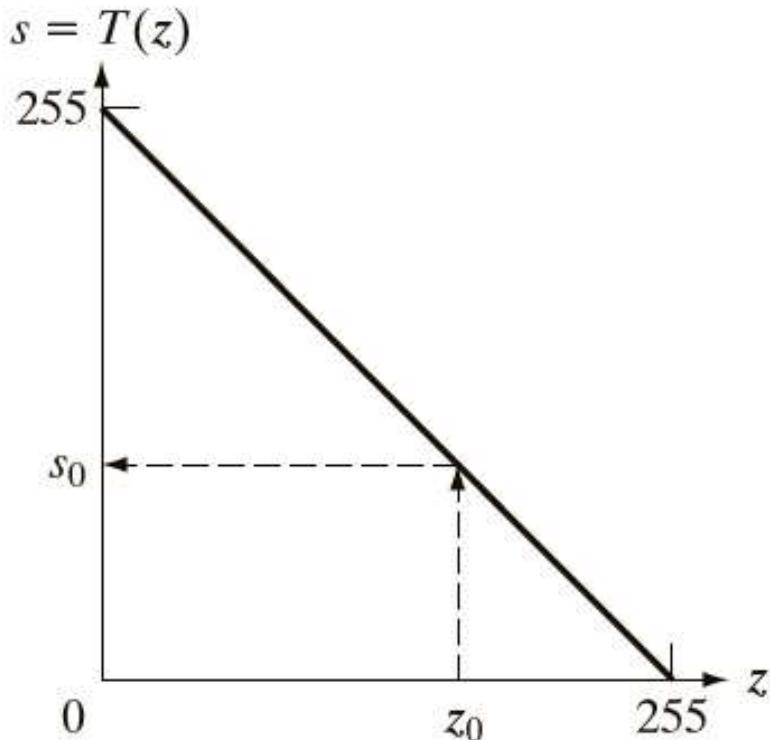
8





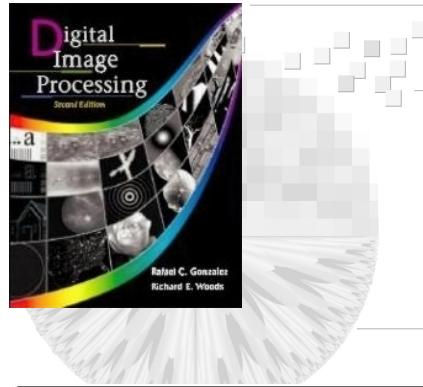
Operações sobre pixels individuais (single-pixel operations)

$$S = T(z)$$



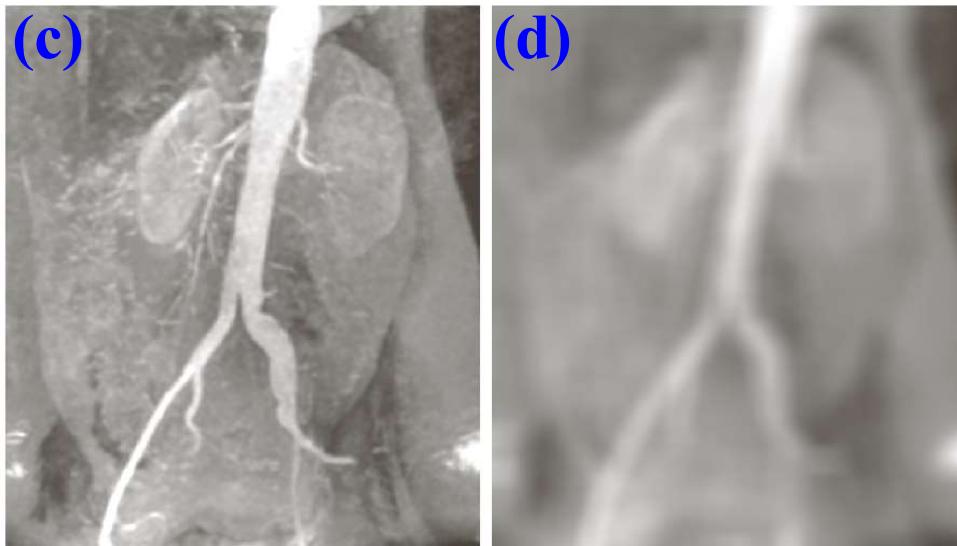
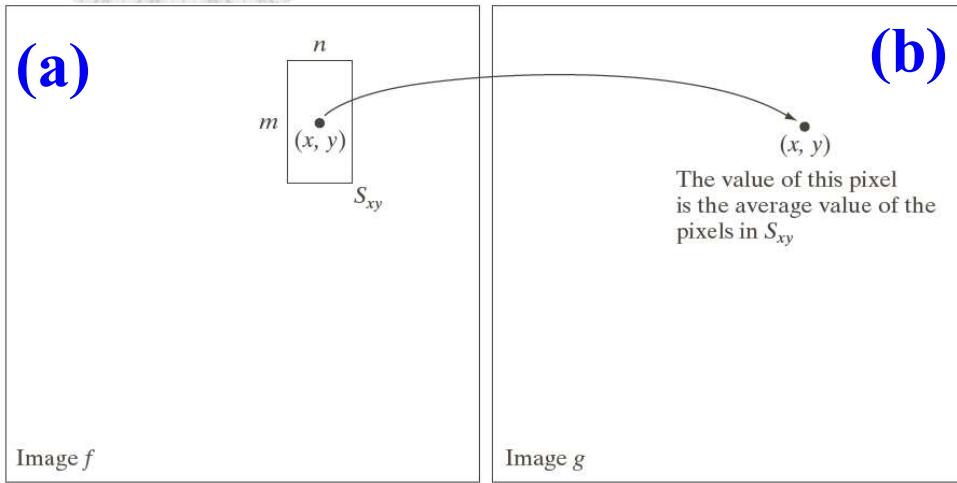
Função de transformação de intensidade usada para obter o negativo de uma imagem de 8 bits

As setas tracejadas mostram a transformação de um valor de intensidade de entrada arbitrária z_0 para um valor de saída correspondente s_0



Operações sobre a vizinhança

Média local usando processamento de vizinhança



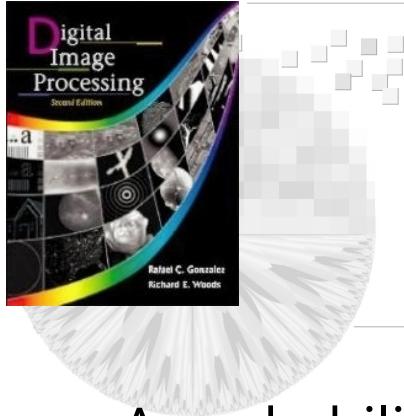
© 2002 R. C. Gonzalez & R. E. Woods

O procedimento é ilustrado em (a) e (b) para uma vizinhança retangular
(c) o angiograma aórtico
(d) resultado usando $g(x,y)$
abaixo, com $m=n=41$
Tamanho das imagens 790x686 pixels

$$g(x, y) = \frac{1}{mn} \sum_{(r,c) \in S_{xy}} f(r, c)$$

Cada pixel de (d) é obtido com a média dos pixels de (c) e de uma vizinhança (41x41) dele

O resultado é um borramento



Métodos Probabilísticos

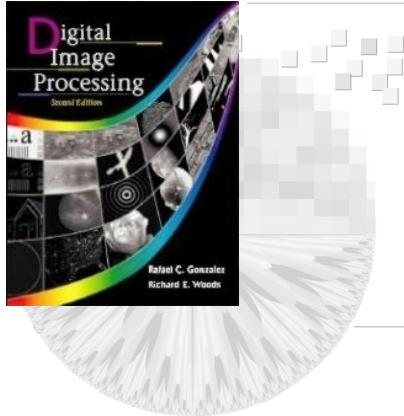
A probabilidade encontra a sua aplicação em processamento de imagens de várias formas

A forma mais simples é considerar os valores de intensidade como variáveis aleatórias

Por exemplo, seja z_i , $i = 0, 1, \dots, L-1$ denotar os valores de todas as possíveis intensidades numa imagem $M \times N$

A probabilidade, $p(z_k)$ do nível de intensidade z_k ocorrer numa dada imagem é estimada como
$$p(z_k) = \frac{n_k}{MN}$$

onde n_k é o número de vezes que a intensidade z_k ocorre na imagem e MN é número total de pixels



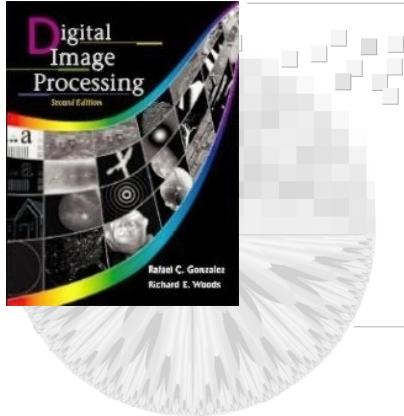
Dado $p(z_k)$ é possível determinar um número de importantes características

Por exemplo, a intensidade média é dada por

$$m = \sum_{k=0}^{L-1} z_k p(z_k)$$

A variância de intensidades é dada por

$$\sigma^2 = \sum_{k=0}^{L-1} (z_k - m)^2 p(z_k)$$

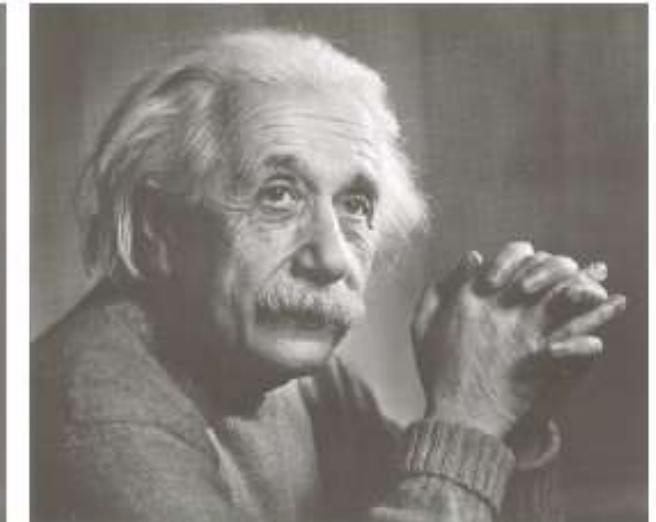
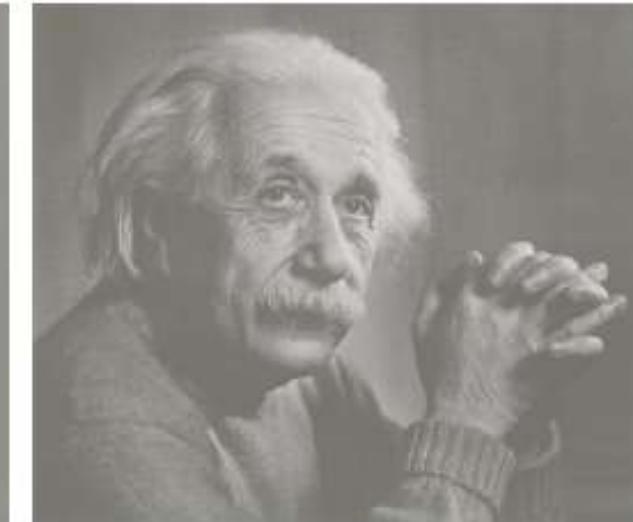
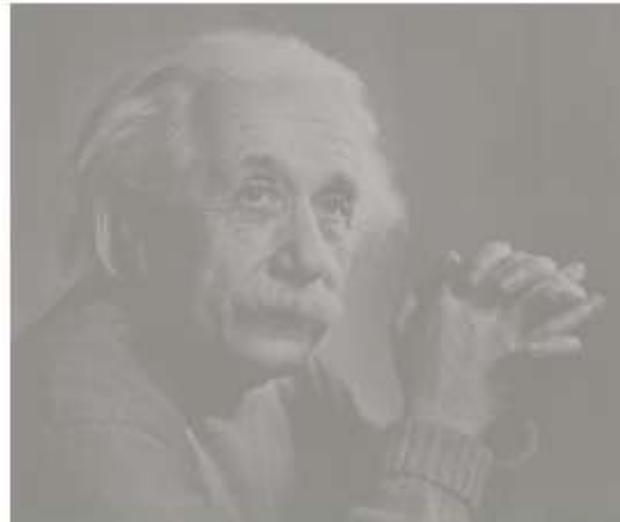
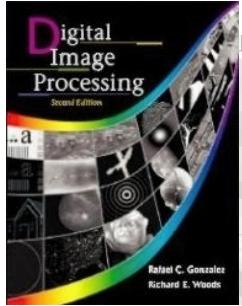


Normalmente o momento de ordem n de uma variável aleatória z em torno da média é definido por

$$\mu_n(z) = \sum_{k=0}^{L-1} (z_k - m)^n p(z_k)$$

Sabe-se que

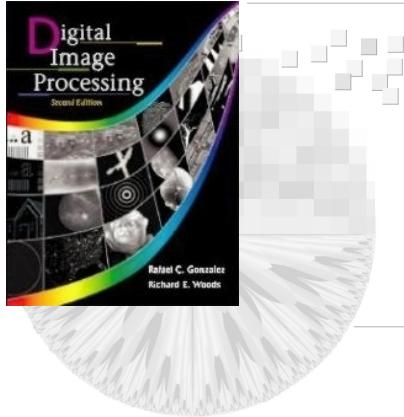
$$\mu_0(z) = 1, \quad \mu_1(z) = 0 \quad \text{e} \quad \mu_2(z) = \sigma^2$$



Imagens mostrando:
(a) baixo contraste
(b) contraste médio
(c) alto contraste

Os desvios padrão nas intensidades das três imagens são 14.3, 31.6 e 49.2, respectivamente
Os valores correspondentes de variância são 204.3, 997.8 e 2424.9

Ambos os conjuntos de valores tem o mesmo significado, mas como as intensidades variam no intervalo [0,255] o desvio padrão faz mais sentido intuitivo nesse caso



Rotulação de elementos conectados

Esta operação atribui um rótulo aos pixels conectados, de modo a identificar os objetos existentes na imagem

São considerados objetos os conjuntos de pontos conectados entre si na imagem

Este assunto será detalhado em uma aula posterior