



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE – UFCEG
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA – CEEI
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS E COMPUTAÇÃO - DSC
Av Aprígio Veloso, S/N – Bodocongó – CEP: 58109-190 – Campina Grande – PB
www.dsc.ufcg.edu.br/ – Fones: (0xx83) 3310 1122/Ramais 2211/2214



Tutorial 1

Introdução ao Processamento Digital de Imagens

José Eustáquio Rangel de Queiroz
Herman Martins Gomes

Agenda

- ⊞ **Considerações Iniciais**
- ⊞ **Conceitos Fundamentais**
 - ⊞ **Natureza da Luz**
 - ⊞ **Estrutura do Olho Humano**
 - ⊞ **Modelos Cromáticos**
 - ⊞ **Modelo de Imagem Digital**
 - ⊞ **Amostragem e Quantização**
 - ⊞ **Sistema Típico de PDI**
- ⊞ **Operações em Imagens**
 - ⊞ **Operações no Domínio do Espaço**
 - ⊞ **Histogramas**
 - ⊞ **Filtragem Espacial**
 - ⊞ **Filtros Morfológicos**
 - ⊞ **Filtragem no Domínio da Frequência**
 - ⊞ **Segmentação**
 - ⊞ **Extração de Características e Reconhecimento**
- ⊞ **Exemplos de Aplicações**
 - ⊞ **Segmentação de Imagens**
 - ⊞ **Reconhecimento de Manuscritos**
 - ⊞ **Recuperação de Imagens por Conteúdo**
 - ⊞ **Deteccção de Regiões utilizando Atenção Visual**
 - ⊞ **Outras Aplicações**

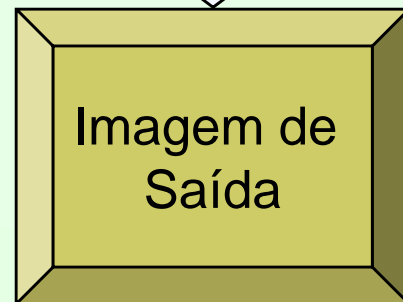
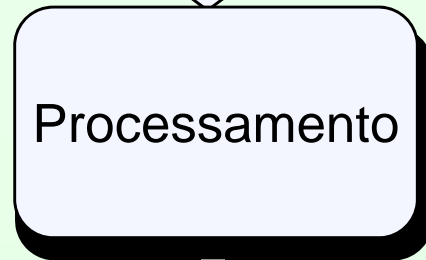
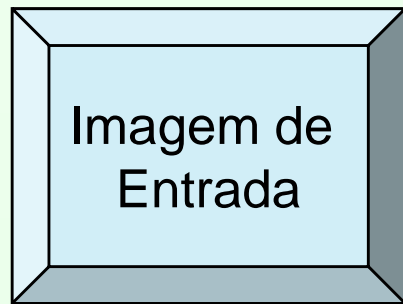
Considerações Iniciais I

⊠ O que é Processamento Digital de Imagens (PDI) ?

- ⊠ **Captura, representação e armazenamento**
- ⊠ **Transformações**
- ⊠ **Realce, filtragem e restauração**
- ⊠ **Compressão**

Considerações Iniciais II

O que é PDI ? (baixo nível)



Inverte cores

detecta bordas

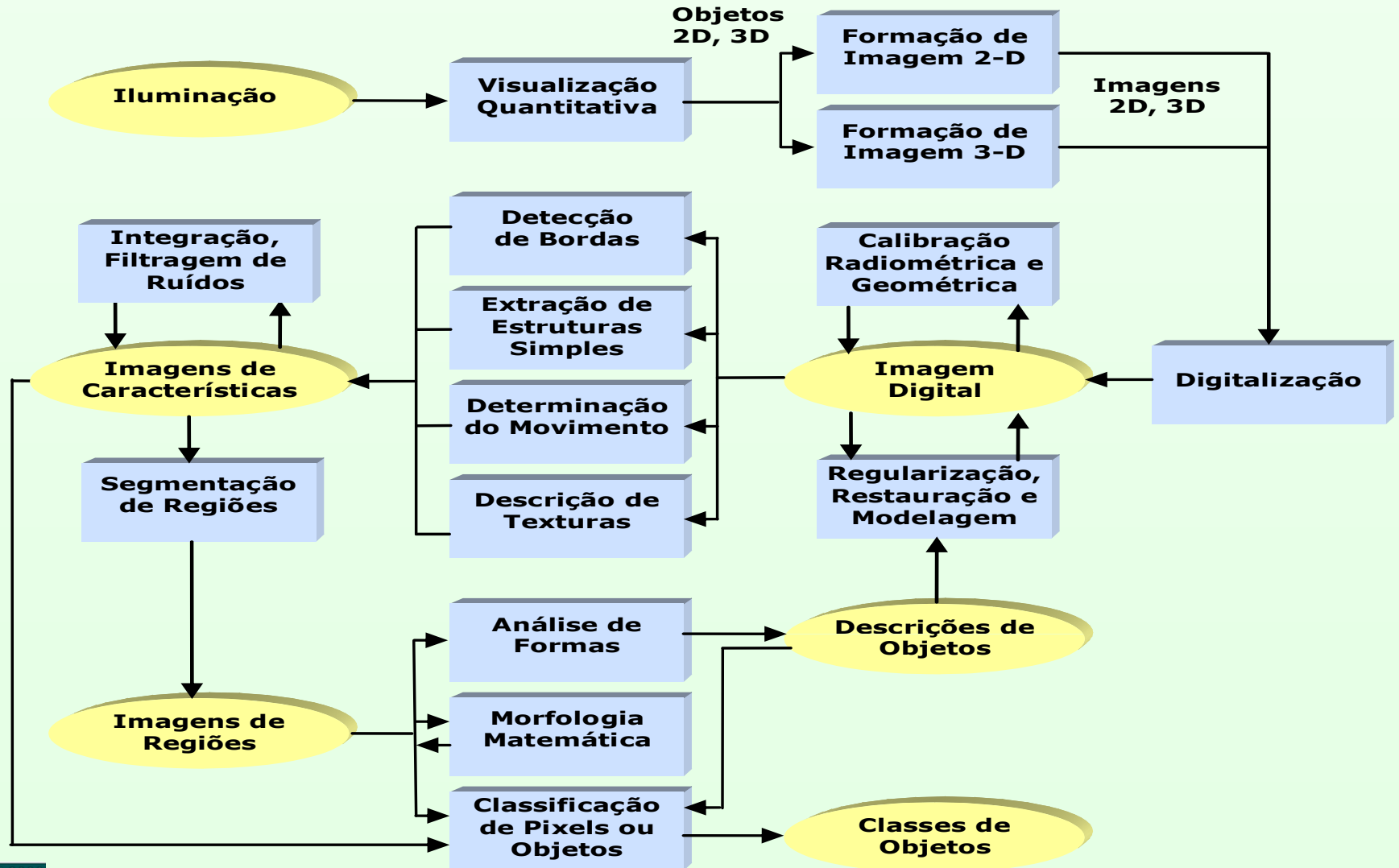


Considerações Iniciais III

- # **Outros Exemplos de Computação com Imagens Relacionados a PDI**
 - ⊕ **Aprendizagem, Interpretação, Classificação e Indexação a partir de imagens e vídeos (Visão Computacional)**
 - ⊕ **Síntese de imagens e vídeos (Computação Gráfica e Animação)**
 - ⊕ **Controle a partir de informação visual (Robótica)**
 - ⊕ **...**

Considerações Iniciais IV

✦ Visão Geral



Considerações Iniciais V

✦ Relação entre PDI e Computação Gráfica(CG)

	Entrada	Natureza do Processamento	Saída
CG	Descrições de uma cena, incluindo aspectos como geometria, iluminação, ponto de observação, propriedades dos objetos	Síntese	Imagens sintetizadas
PDI	Imagem capturada a partir de uma cena real	Análise	Imagens processadas / analisadas

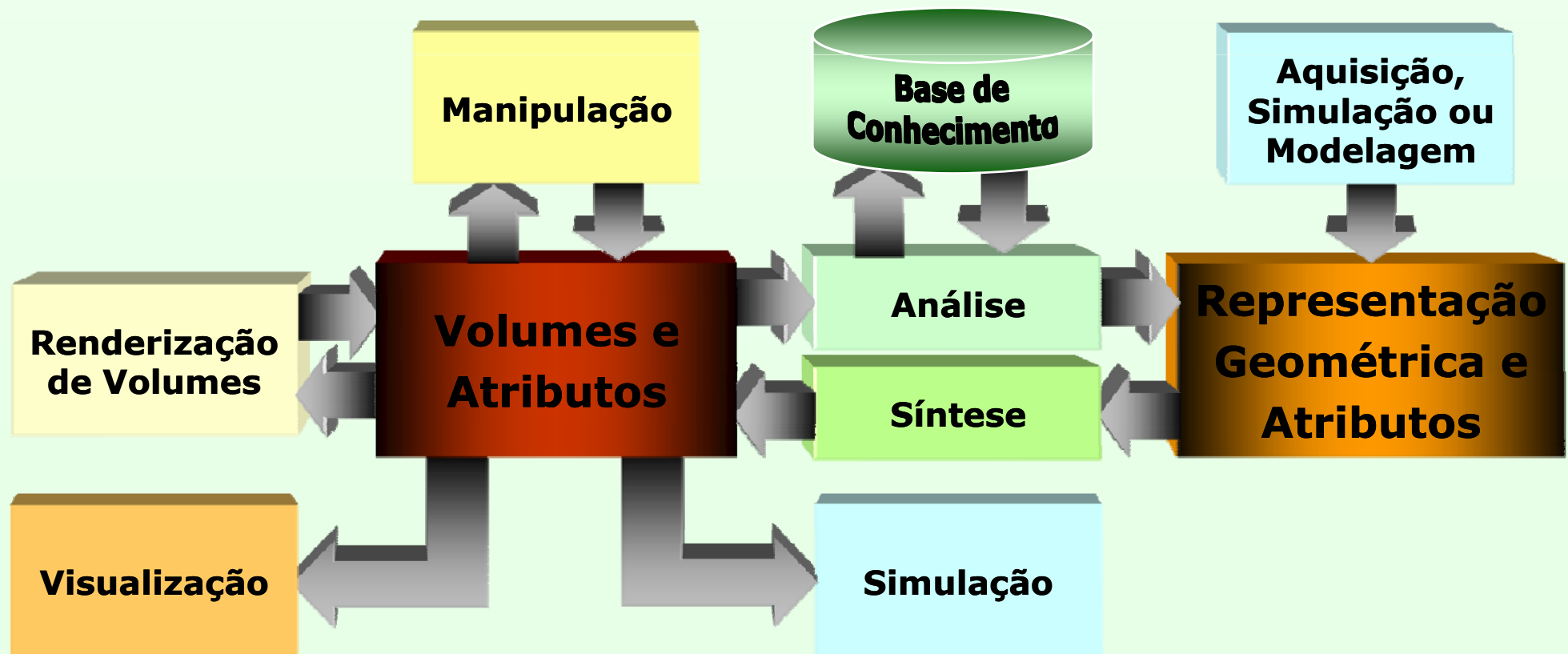
Considerações Iniciais VI

✦ Natureza Interdisciplinar de PDI



Considerações Iniciais VII

✦ Computação Visual (CV)



Considerações Iniciais

VIII

⊠ **Computação Visual (CV)**

⊠ **$CV = PDI + RP + CG + VV$**

⊠ **Viabilidade** ⇒ **Computadores mais rápidos, com maior capacidade de armazenamento & mais baratos**

⊠ **Aplicabilidade** ⇒ **Engenharia, Imageamento Médico, Geociências, Modelagem Física, Pesquisas Arqueológicas e muito mais**

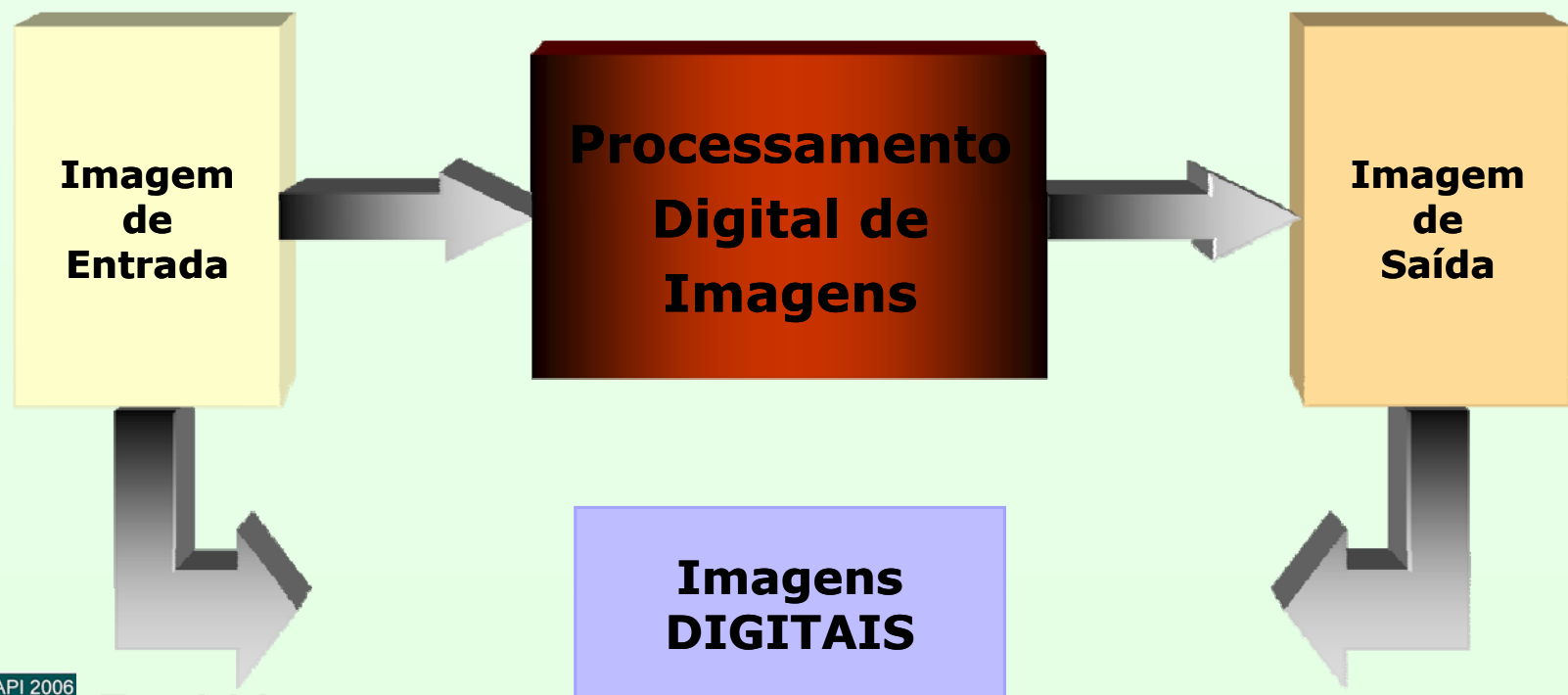
Considerações Iniciais

IX

✦ Foco do Apresentação

✦ Processamento Digital de Imagens (PDI)

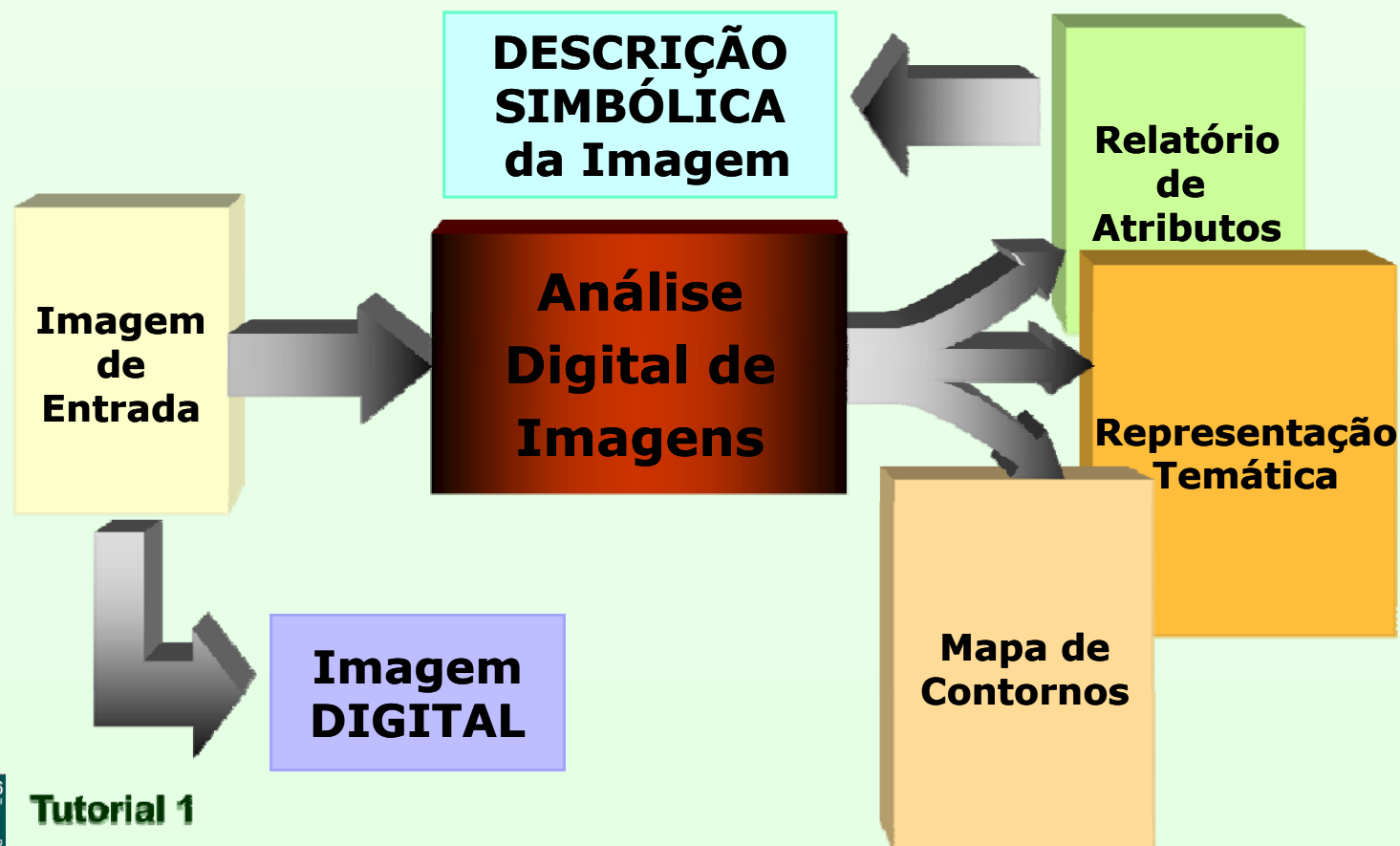
✦ Manipulação/Análise de imagens com auxílio de computadores digitais



Considerações Iniciais X

Análise Digital de Imagens

⊕ Descrição e reconhecimento do conteúdo de imagens digitais



Considerações Iniciais

XI

⊕ **Classes de Técnicas de PDI e Visão Computacional**

⊕ **Visão de Baixo Nível**

✧ **Algoritmos essencialmente de PDI**

✧ **Entrada e saída do processo ⇒ Imagens digitais**

⊕ **Visão de Nível Intermediário**

✧ **Imagem digital como entrada**

✧ **Representações simbólicas de baixo nível de características da imagem de entrada (e.g. mapa de contornos de objetos da imagem)**

Considerações Iniciais

XII

⊕ **Classes de Técnicas de PDI e Visão Computacional**

⊕ **Visão de Alto Nível**

- ✧ **Algoritmos que usam representações simbólicas como entrada e saída**
- ✧ **Intimamente relacionada às áreas de Inteligência Artificial e de Reconhecimento de Padrões**
- ✧ **Tentativa de simulação dos altos níveis de percepção visual humana (entendimento da imagem)**

Conceitos Fundamentais I

☒ Natureza da Luz I

⊕ Radiação eletromagnética

- ✧ Comportamento ondulatório caracterizado por sua frequência (f) e comprimento de onda (λ).

⊕ Luz visível

- ✧ Faixa do espectro eletromagnético à qual o sistema visual humano é sensível
 - ✧ Aproximadamente de **400** a **770** nm
 - ✧ Radiação eletromagnética fora desta faixa não é percebida pelo olho humano

Conceitos Fundamentais I

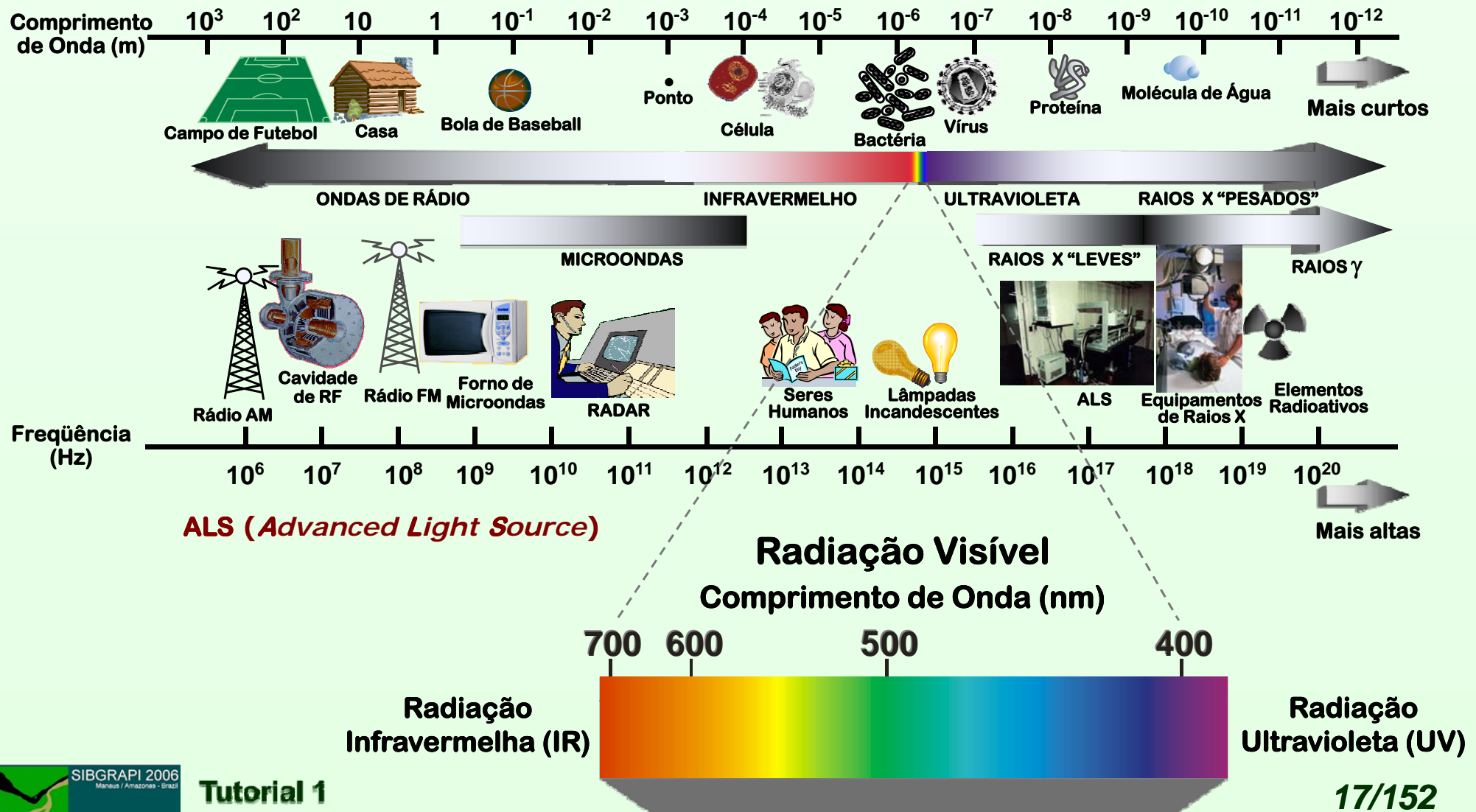
⊠ Natureza da Luz II

⊕ *Luz visível*

- ✧ Faixa do espectro eletromagnético à qual o sistema visual humano é sensível
 - ✧ Dentro da faixa de **400** a **770** nm, o olho percebe comprimentos de onda diferentes como **cores** distintas
 - ✧ Fontes de radiação com um único comprimento de onda denominam-se **monocromáticas** e a cor da radiação denomina-se **cor espectral pura**

Conceitos Fundamentais II

Espectro Eletromagnético



Conceitos Fundamentais III

Visão humana ⇒ **Mecanismo de percepção complexo e importante**

⊕ **Aquisição de informações**

- ✧ **Simple** (e.g. reconhecimento de objetos)
- ✧ **Complexas** (e.g. desenvolvimento da inteligência humana, tomada de decisões)

“Uma imagem vale mil palavras.”
[Provérbio chinês]

Conceitos Fundamentais IV

✦ Sistema e Percepção Visual Humana

✦ Retina

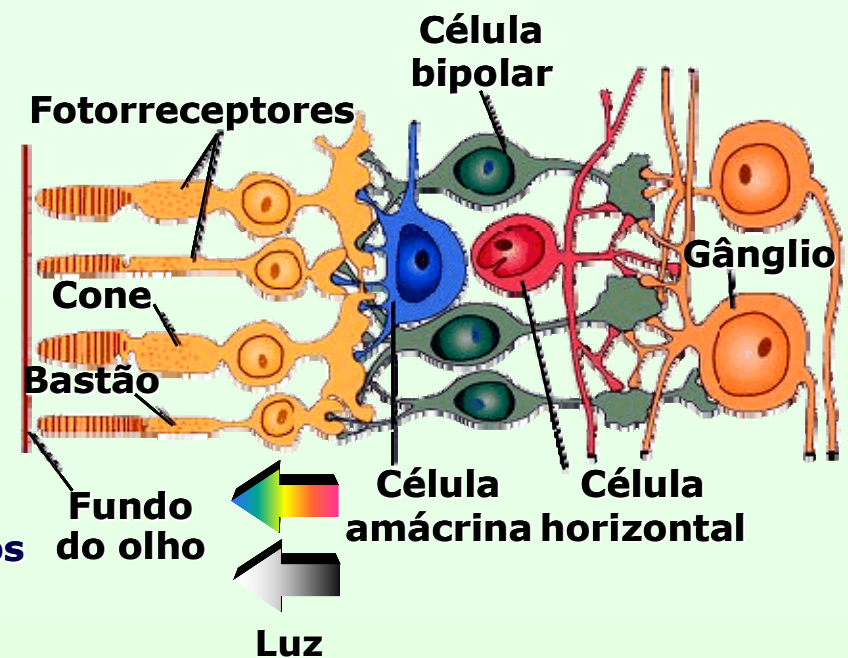
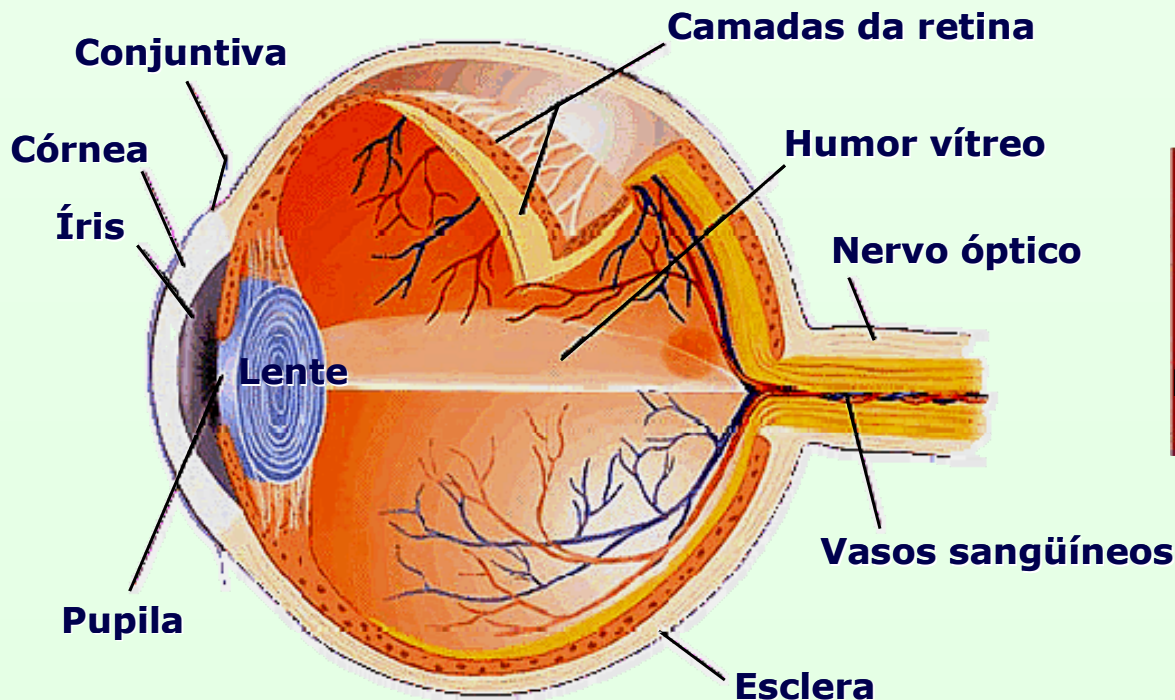
- ✦ **75-150 milhões de bastões**
 - ✦ **Sensibilidade a níveis muito baixos de intensidade luminosa**
 - ✦ **Visão escotópica**
- ✦ **5-7 milhões de cones**
 - ✦ **Sensibilidade a cores**
 - ✦ **Visão fotópica**
- ✦ **Adaptabilidade a níveis luminosos do ambiente**

Conceitos Fundamentais V

✦ Sistema e Percepção Visual Humana

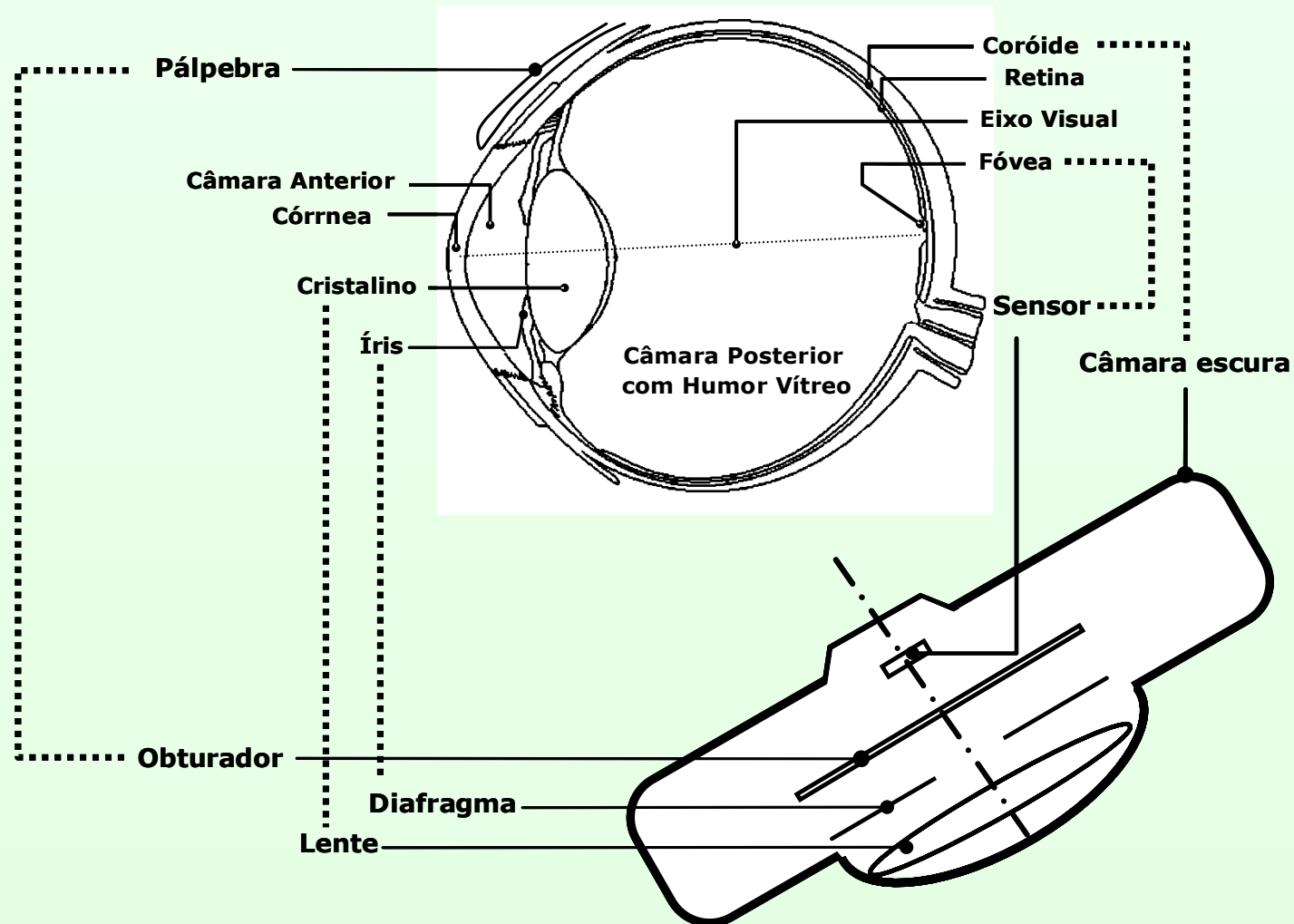
✦ HVS \Rightarrow Sistema passa-faixa

✦ Comportamento responsável por algumas ilusões visuais



Conceitos Fundamentais VI

✦ Sistema e Percepção Visual Humana

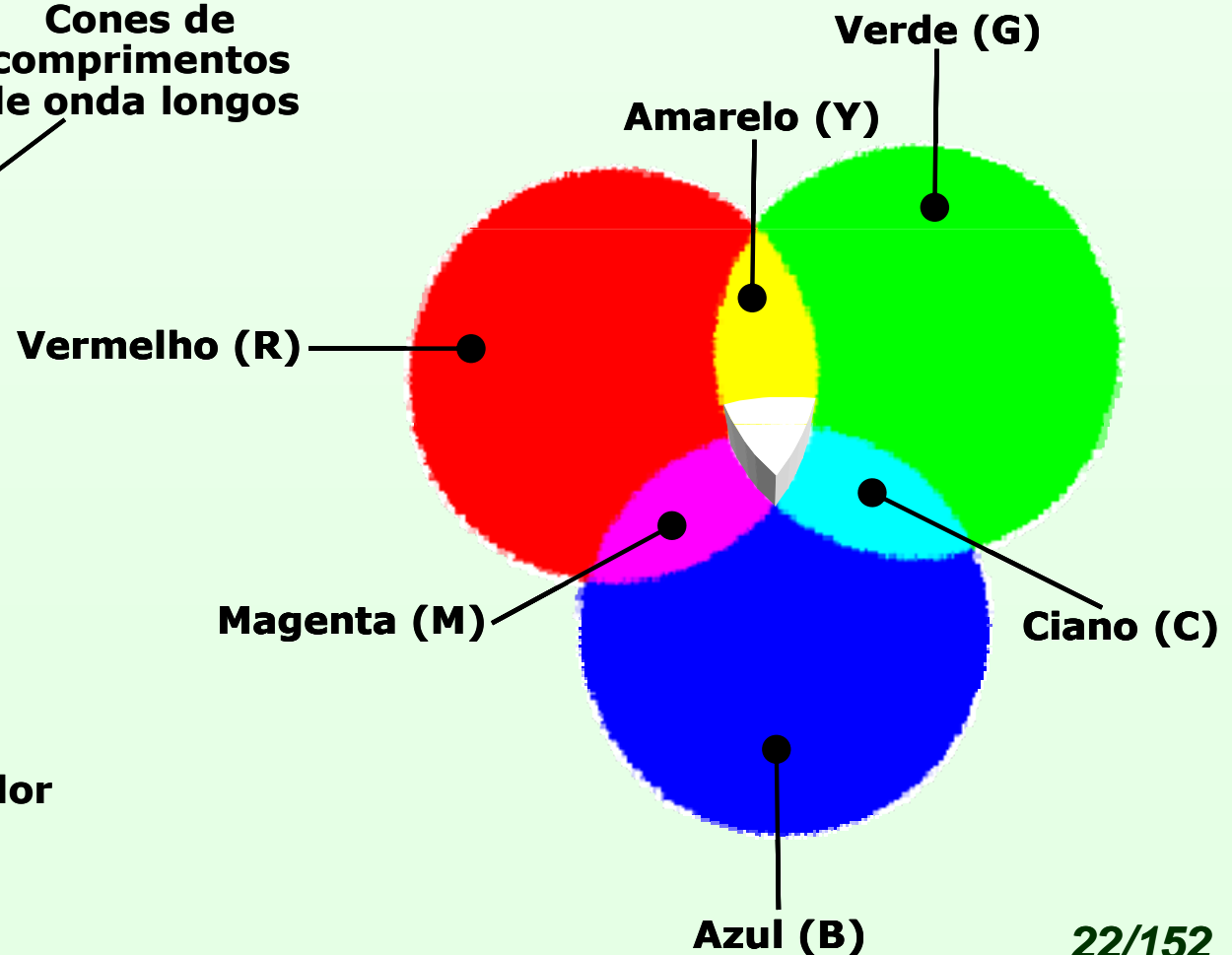
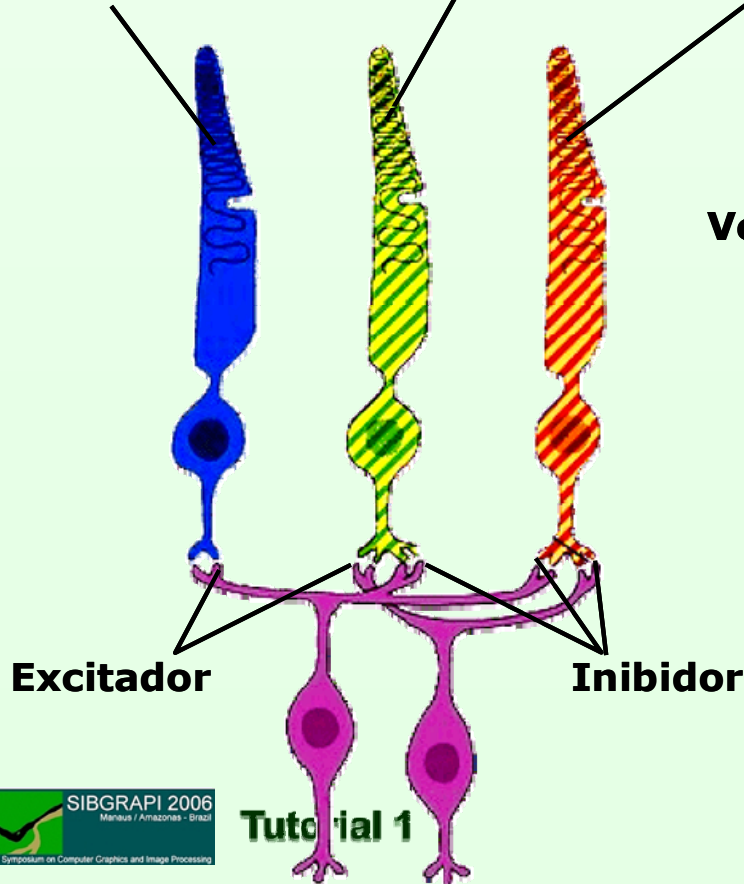


Conceitos Fundamentais VII

✦ Sistema e Percepção Visual Humana

✦ Teoria do Triestímulo

Cones de comprimentos de onda curtos **Cones de comprimentos de onda médios** **Cones de comprimentos de onda longos**

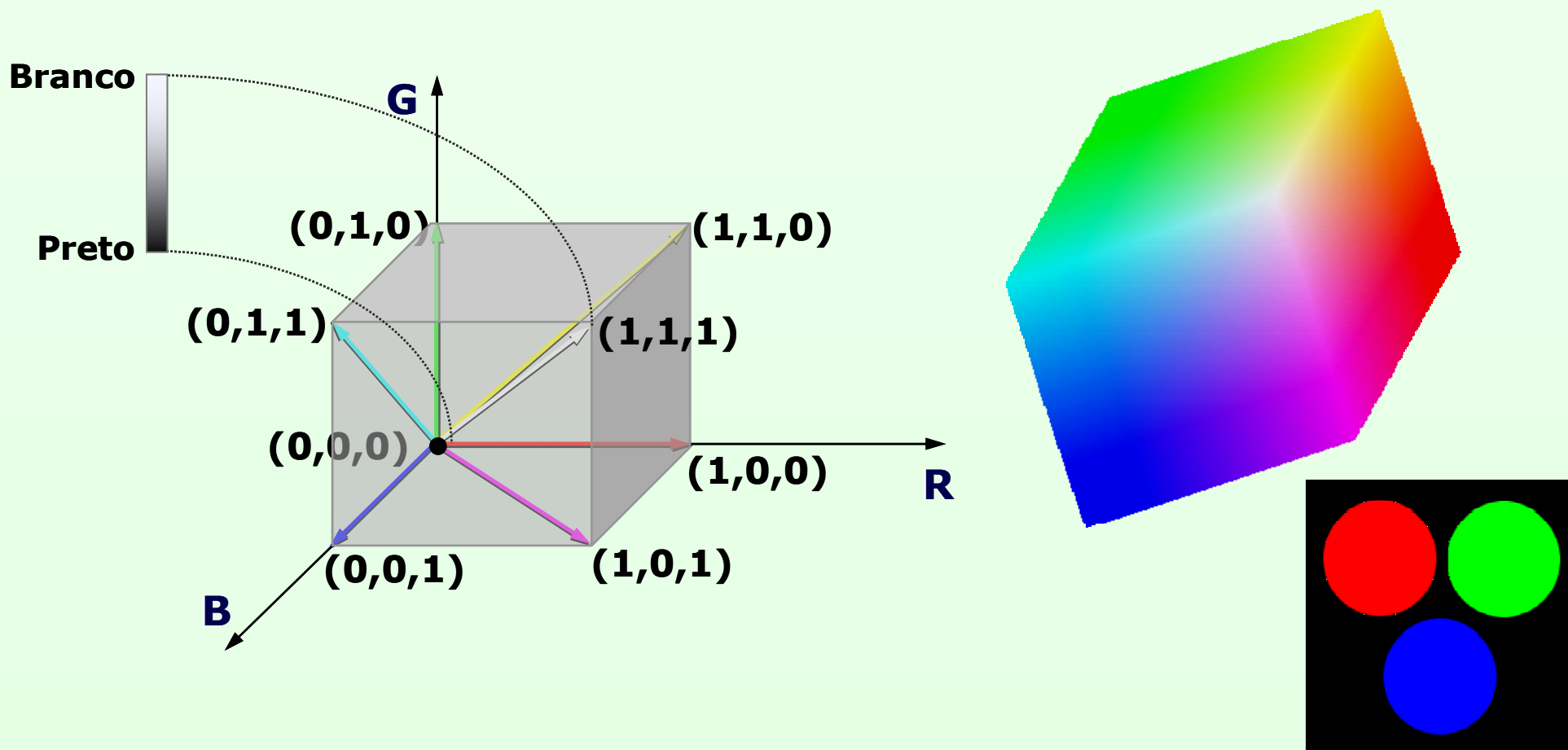


Conceitos Fundamentais

VIII

⊠ Modelo Cromático **RGB** II

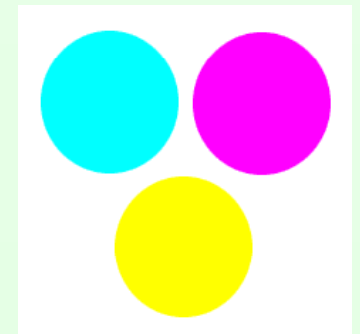
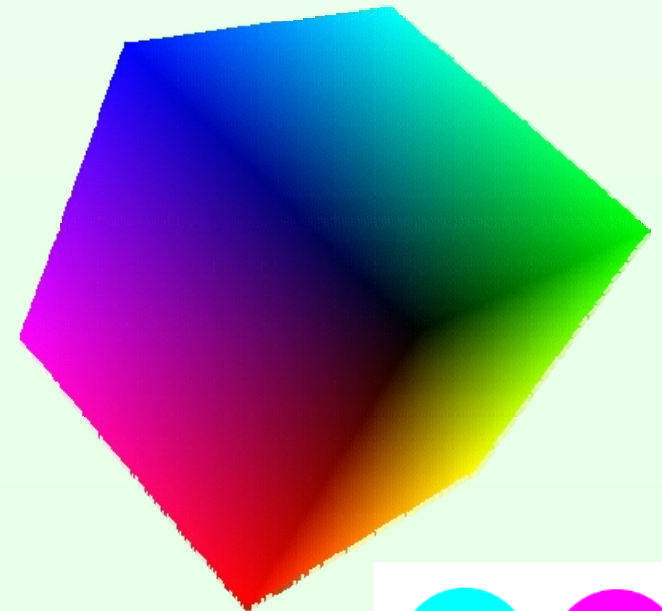
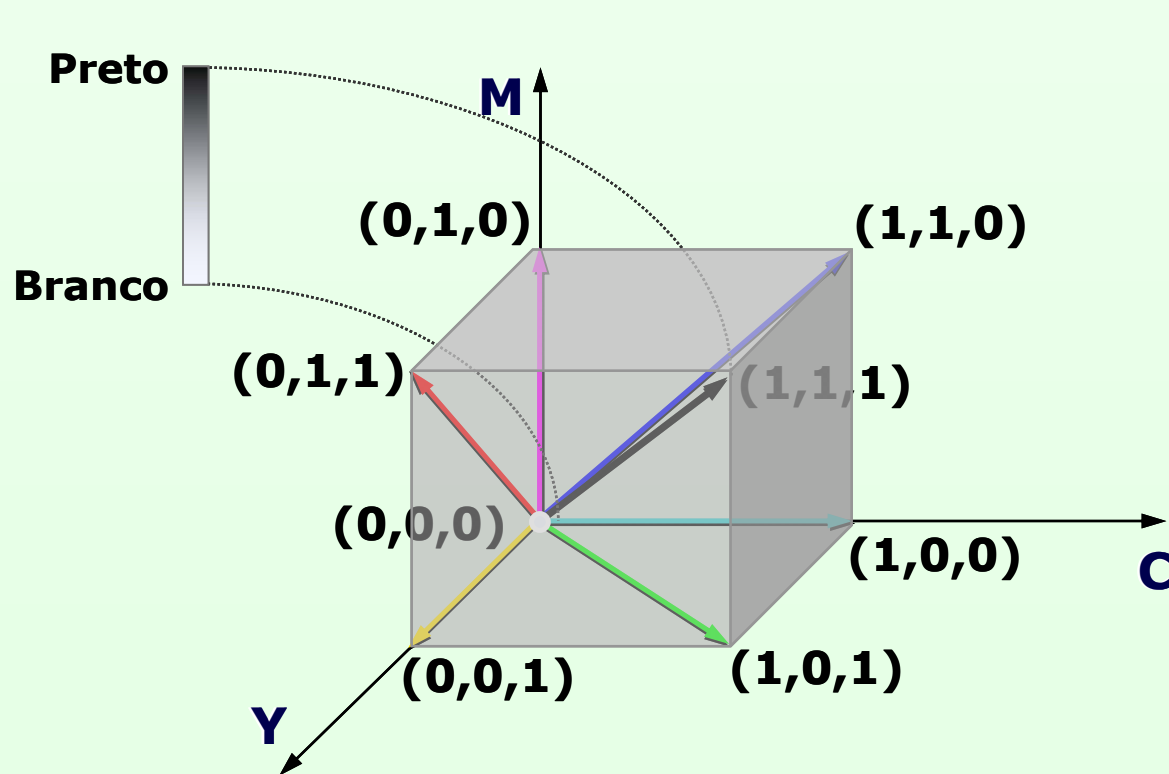
⊕ Secundárias ⇒ **Ciano**, **Magenta** e **Amarelo**



Conceitos Fundamentais IX

Modelos Cromáticos **CMY** e **CMYKI**

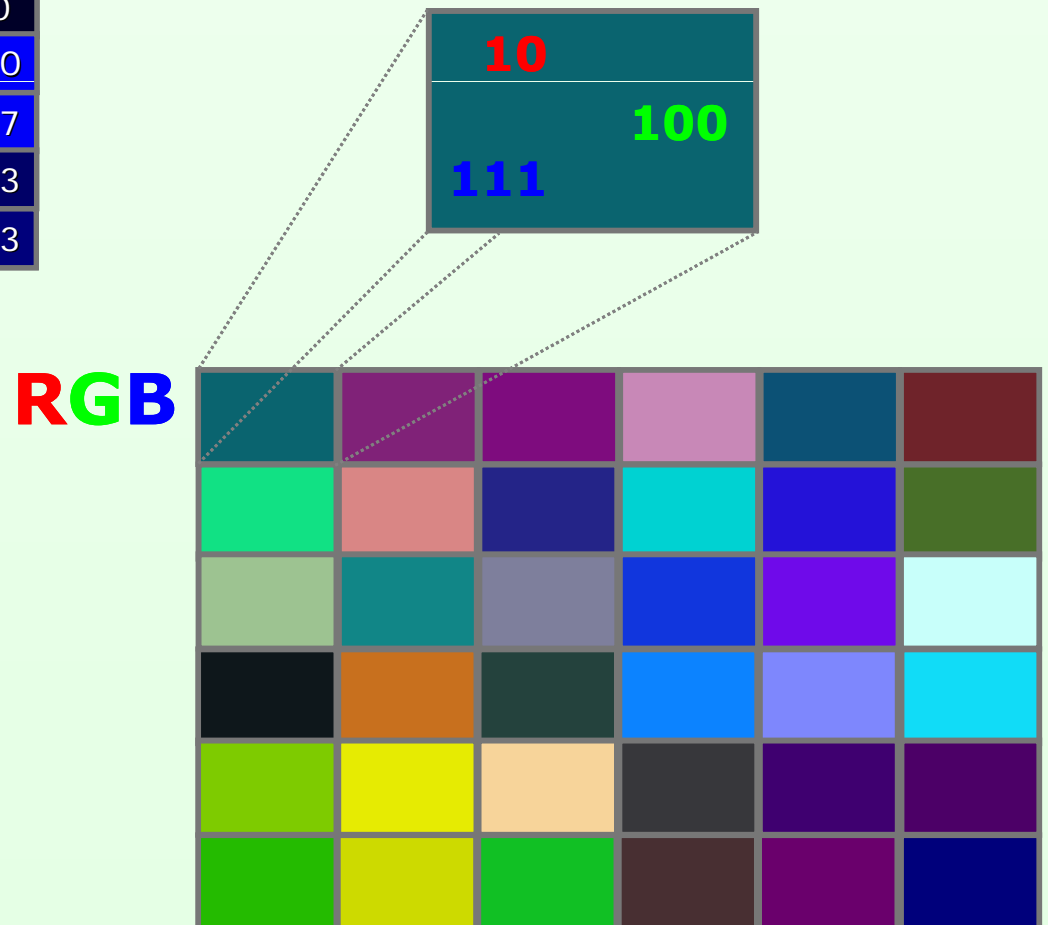
Secundárias \Rightarrow **Vermelho**, **Verde** e **Azul**



Conceitos Fundamentais X

Exemplo de Composição **RGB**

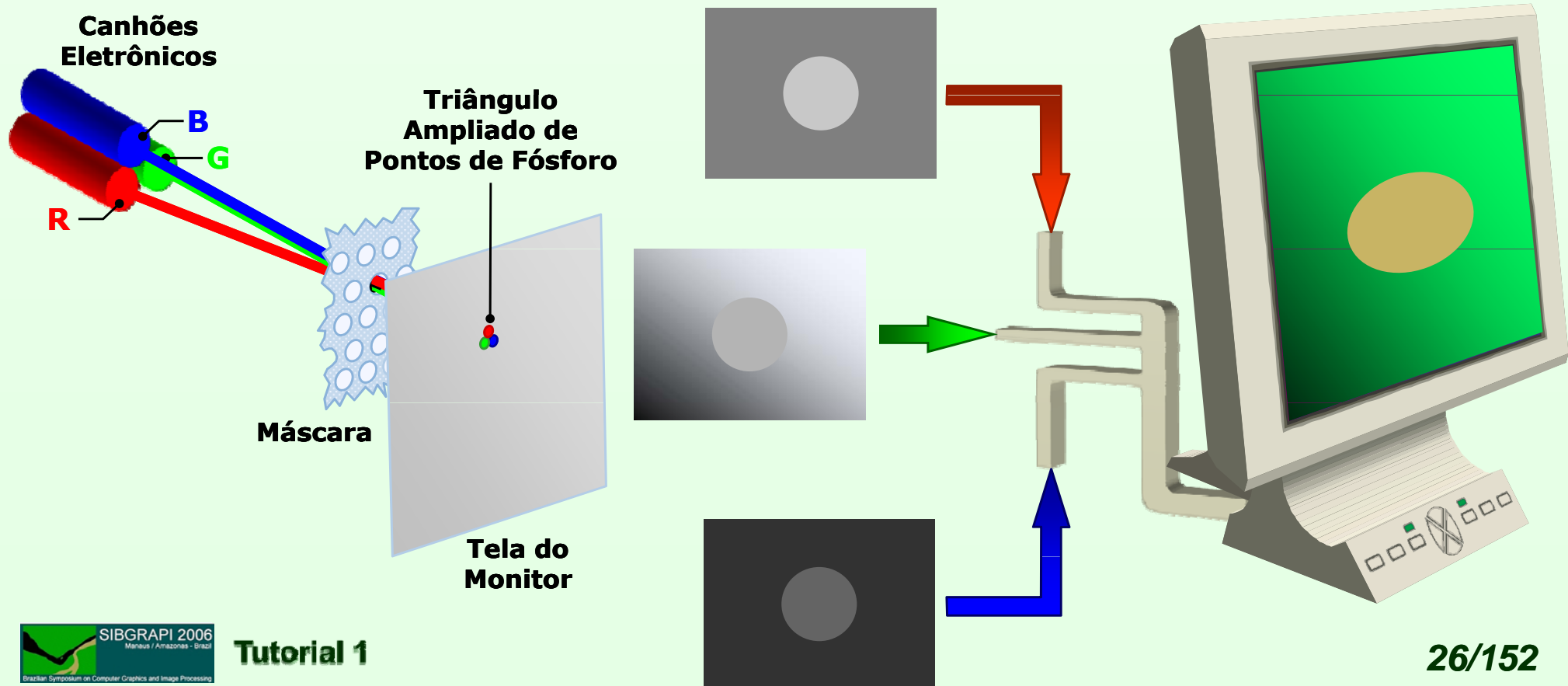
B	111	120	126	183	117	42
	132	133	136	199	216	40
	145	135	156	221	234	250
	27	30	61	255	253	247
	0	2	154	59	112	103
	0	0	36	50	108	123
G	100	34	12	136	81	35
	225	134	36	210	18	111
	195	139	127	54	10	255
	23	112	66	131	135	220
	203	235	212	55	0	0
	187	218	192	47	0	0
R	10	128	126	200	12	111
	17	217	36	210	36	72
	157	17	126	17	111	200
	14	200	36	12	126	17
	126	230	247	55	63	76
	36	205	17	72	106	0



Conceitos Fundamentais XI

✦ Modelo Cromático **RGB** IV

✦ Exemplo de geração de uma imagem RGB a partir de planos individuais



Conceitos Fundamentais

XII

⊞ Modelo Cromático *HSV* II

⊞ *HSV* (*H*ue *S*aturation *V*alue) ou *HSB* (*H*ue *S*aturation *B*rightness)

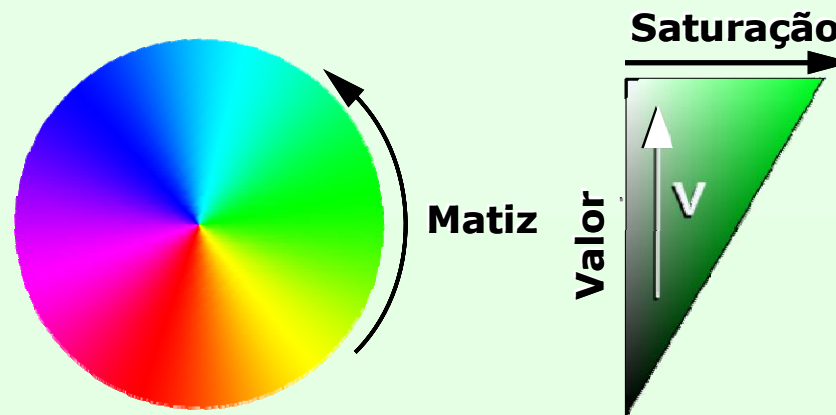
⊞ Disco de Cores

✧ *Matiz* ⇒ Região circular

✧ *Saturação* e *Valor* ⇒ Região triangular separada (Triângulo retângulo)

✧ *Saturação* ⇒ Eixo horizontal do triângulo

✧ *Valor* ⇒ Eixo vertical do triângulo



Conceitos Fundamentais

XIII

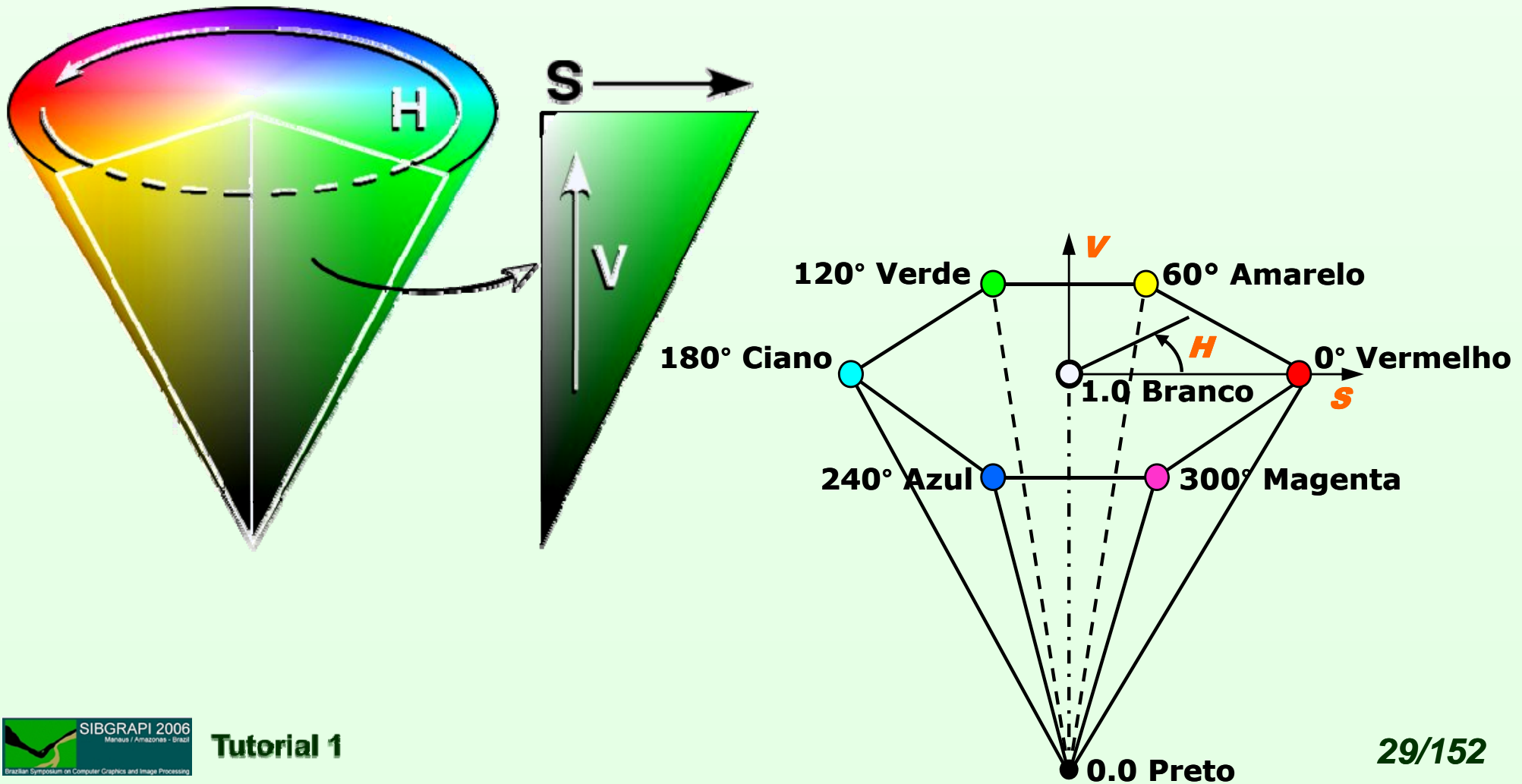
Modelo Cromático *HSV* III

- ⊕ Método cônico (ou hexacônico) de visualização ⇒ Uso de uma formação cônica (ou hexacônica) do disco de cores
 - ✧ *Saturação* ⇒ Distância do centro de uma seção circular do cone
 - ✧ *Valor* ⇒ Distância da ponta do cone ao ponto de interesse, sobre o eixo vertical

Conceitos Fundamentais XIV

Modelo Cromático **HSV** IV

⊕ Visões cônica e hexacônica



Principais Objetivos I

⊕ Realce de Imagens (Pré-processamento)

- ✧ Otimização do processo de visualização para a interpretação visual conforme o contexto; e
- ✧ Manipulação visando procedimentos de classificação de padrões

Conceitos Fundamentais

XVI

Principais Objetivos II

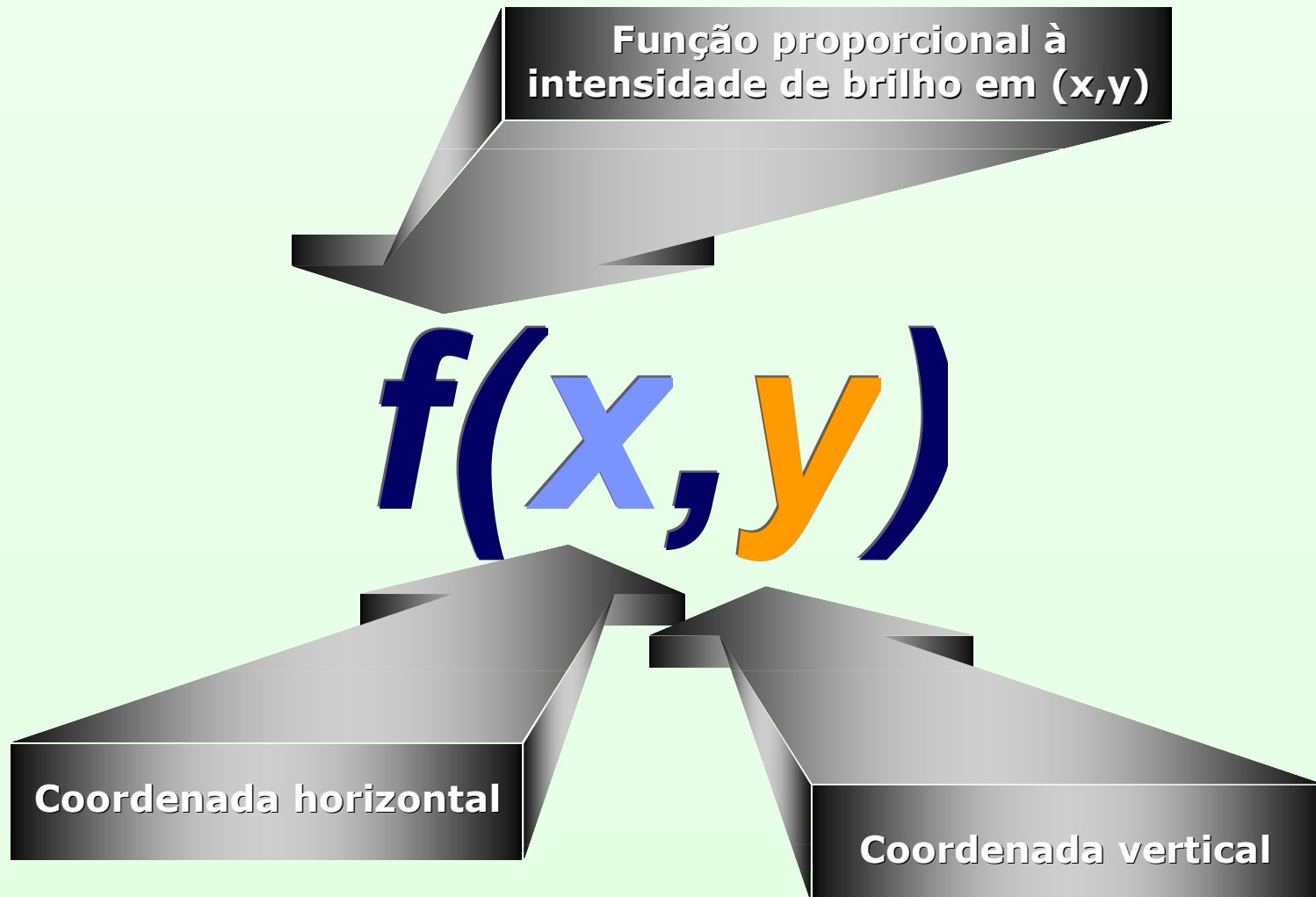
⊕ Classificação de Padrões

- ✧ Extração de informações necessárias à análise quantitativa da imagem considerada

Conceitos Fundamentais

XVII

Imagem Digital I



Conceitos Fundamentais XVIII

⊠ Imagem Digital II

⊕ Discretização

✧ Limitação do número de valores que uma variável pode assumir

✧ Amostragem

✦ Discretização das *coordenadas espaciais*

✧ Quantização

✦ Discretização dos *níveis de cinza (valores de brilho)*

Conceitos Fundamentais

XIX

⊕ Imagem Digital III



$$f(x,y)$$

f intensidade luminosa
 x,y coordenadas espaciais

(302, 1353)

Amostragem
(Coordenadas espaciais)

Quantização
(Amplitude das
intensidades
luminosas)

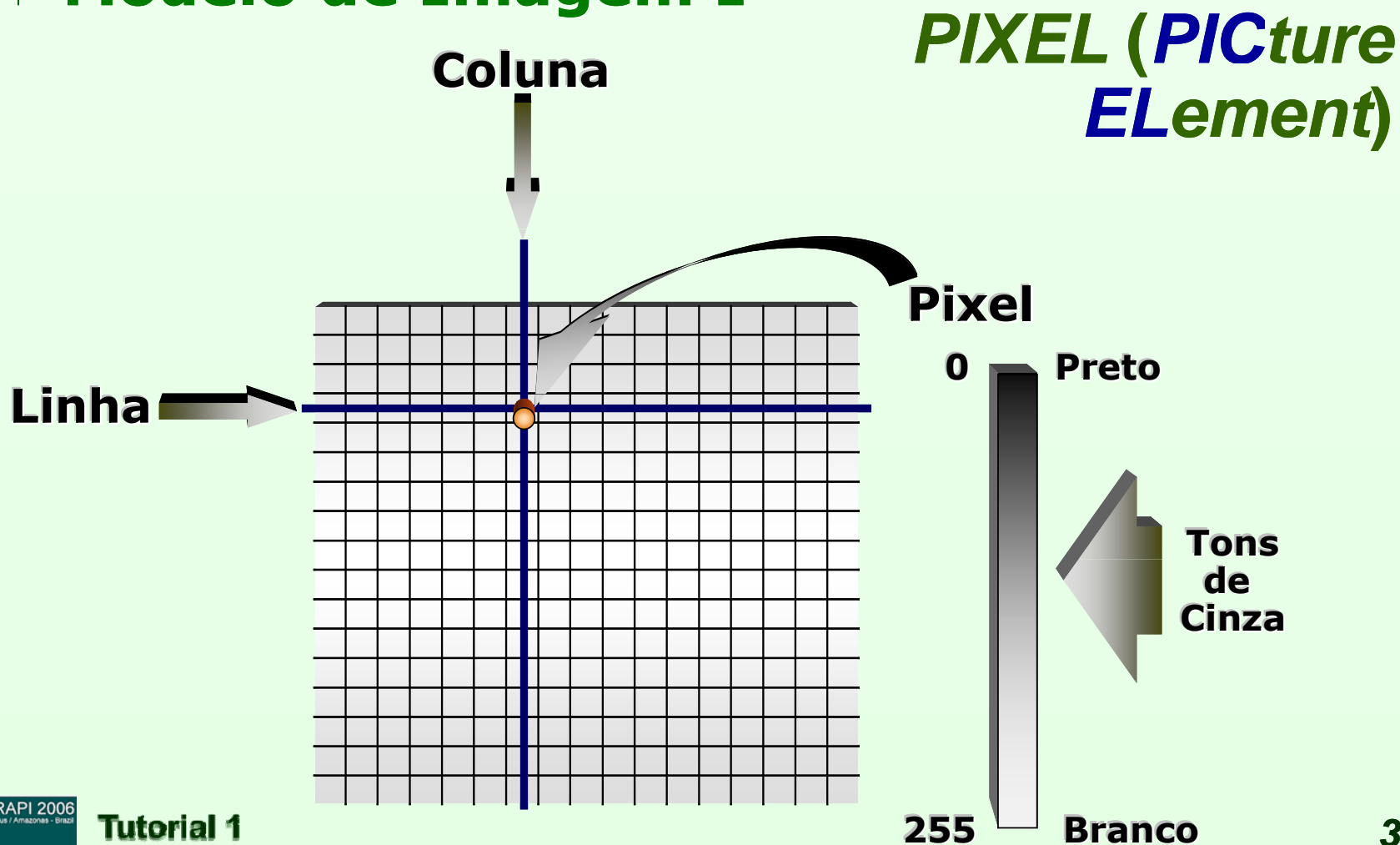
R: 59
G:10
B:62

Conceitos Fundamentais

XX

Imagem Digital IV

Modelo de Imagem I



Conceitos Fundamentais

XXI

⊠ Modelo de Imagem II

⊕ Aspectos Práticos - Discretização

✧ Amostragem

✧ Usual $\Rightarrow M = N = 2^K, K = \{8, 9, 10\}$

✦ Conformidade com padrões de vídeo

✦ Simplicidade do circuito digital
(Especificações do *hardware*)

✦ Uso de determinados algoritmos (e.g.
Transformada [Rápida] de Fourier)

⊠ Modelo de Imagem III

⊕ Aspectos Práticos - Discretização

✧ Quantização

✧ Usual $\Rightarrow L = 2^B$, B é número de bits na representação binária dos valores de brilho

✧ $B > 1 \Rightarrow$ Imagem *em tons de cinza*

✧ $B = 1 \Rightarrow$ Imagem *binária*

Conceitos Fundamentais

XXIII

Primeira etapa de qualquer aplicação de PDI

- ⊕ Conversão usual do sinal óptico em um sinal elétrico analógico

- ⊕ Digitalização do sinal elétrico analógico

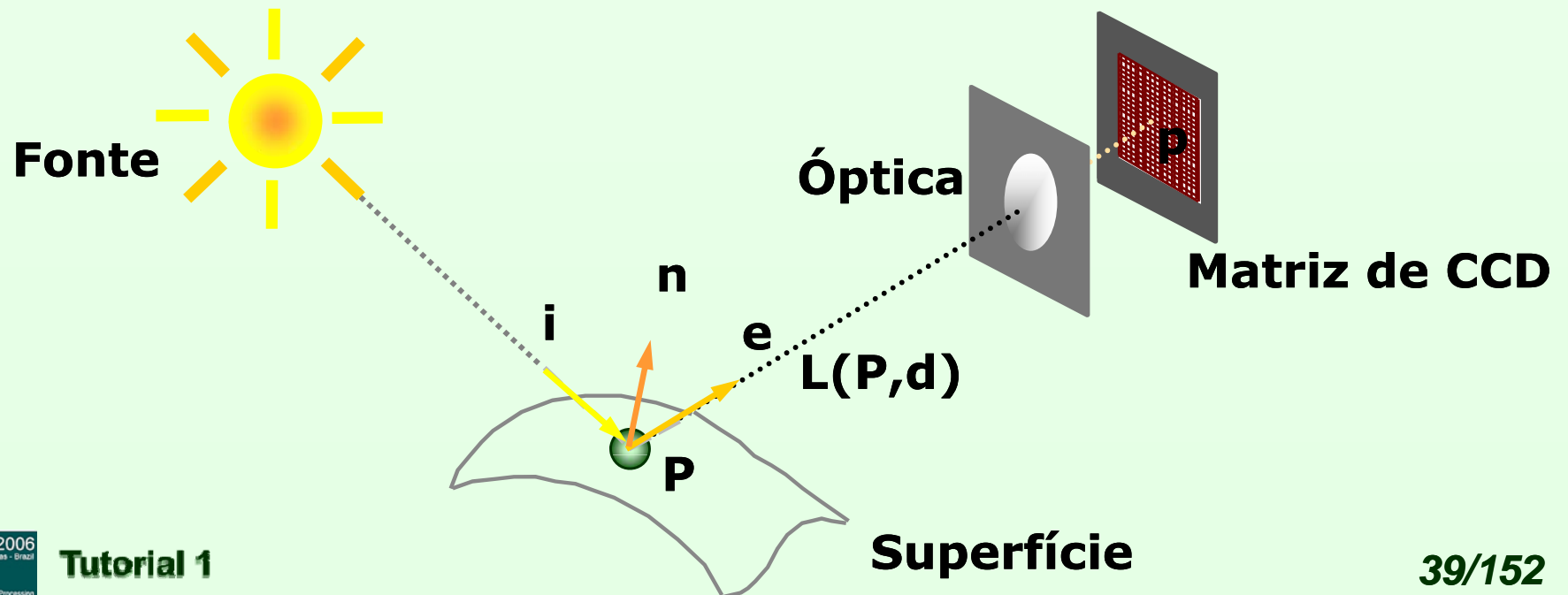
 - ✧ Digitalizador de vídeo (*frame grabber*)

- ⊕ Finalização do processo de formação da imagem digital

Conceitos Fundamentais XXIV

☒ Radiometria

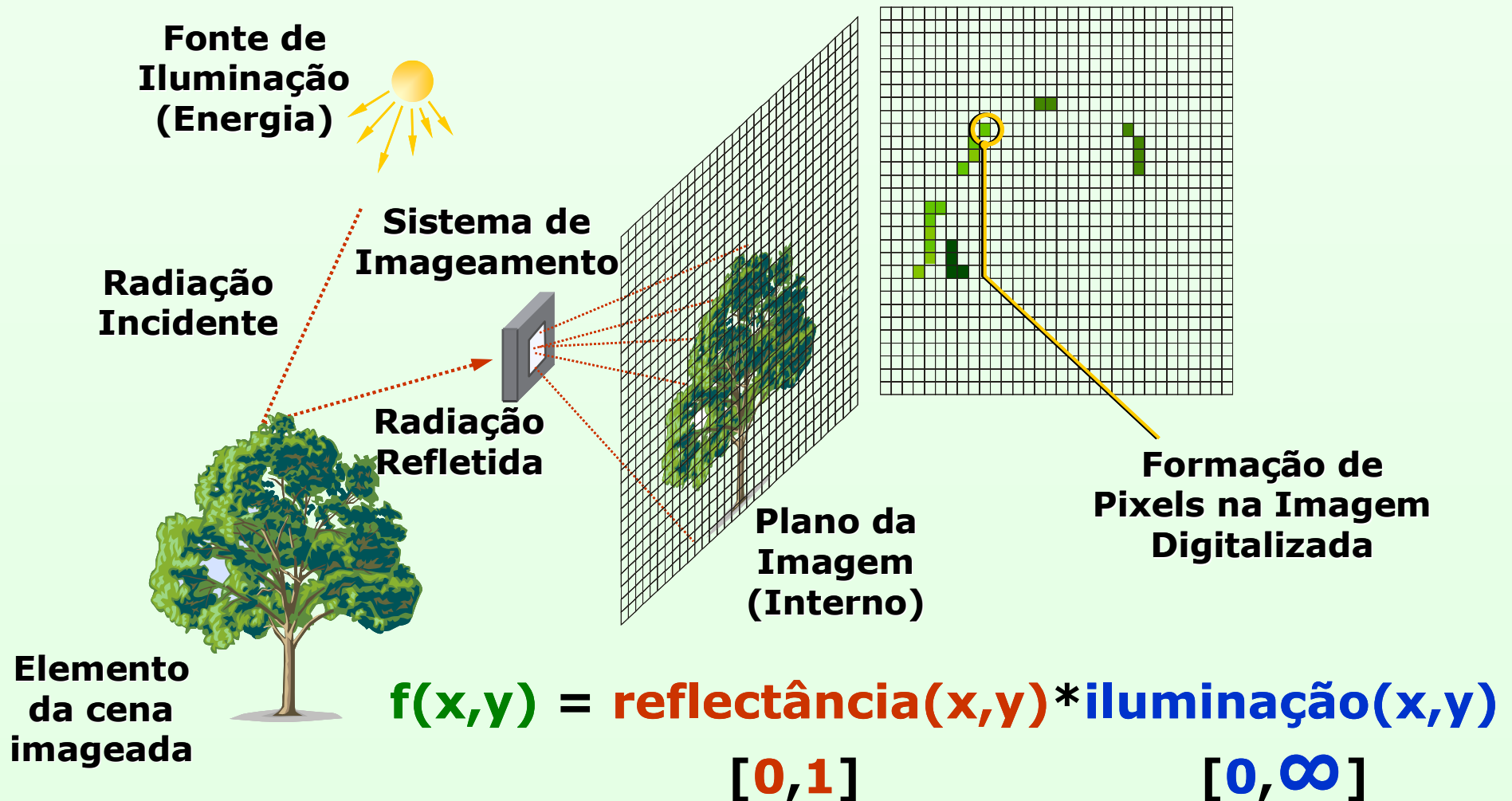
- ☒ Aspecto da formação da imagem concernente à relação entre as quantidades de energia luminosa emitida da fonte de luz, refletida da superfície imageada e registrada por sensores



Conceitos Fundamentais

XXV

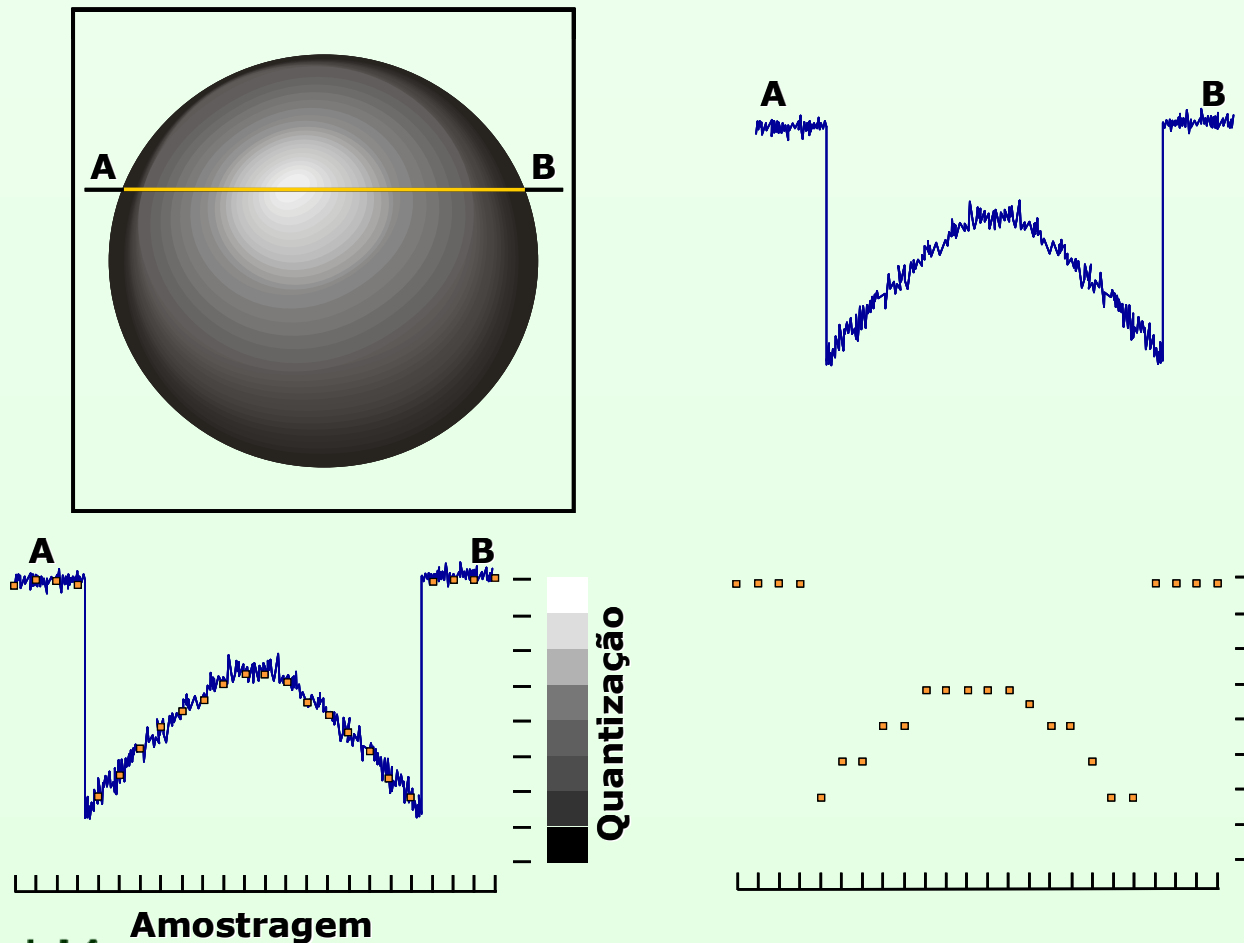
✦ Processo de Aquisição de Imagens Digitais



Conceitos Fundamentais XXVI

✦ Geração de uma Imagem Digital I

✦ Amostragem e Quantização

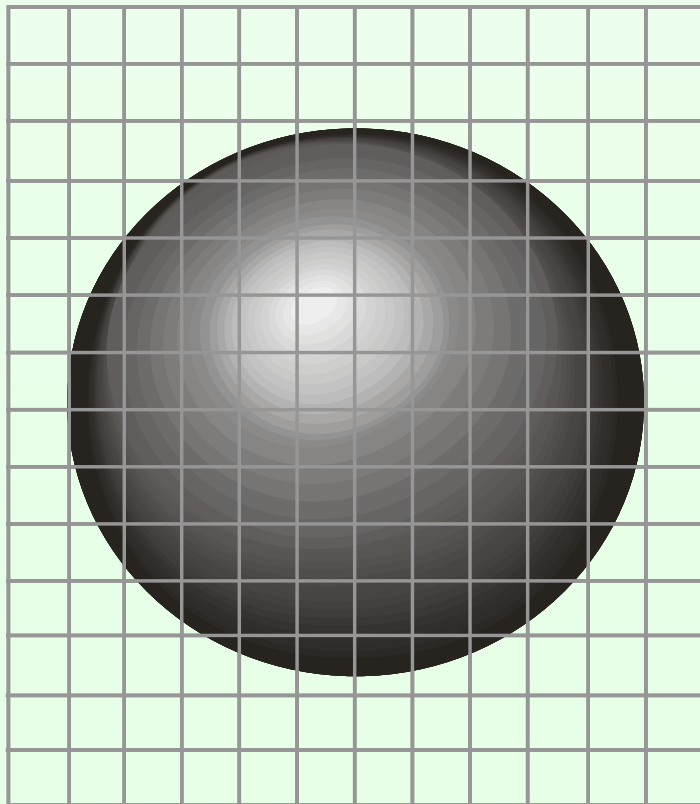


Conceitos Fundamentais

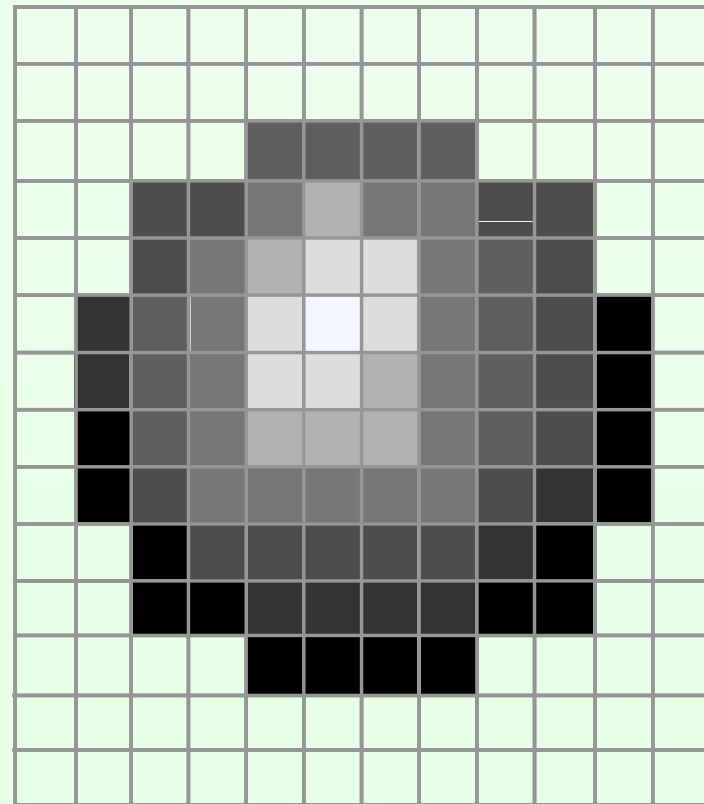
XXVII

✦ Geração de uma Imagem Digital II

✦ Amostragem e Quantização



**Imagem contínua projetada
na matriz de sensores**

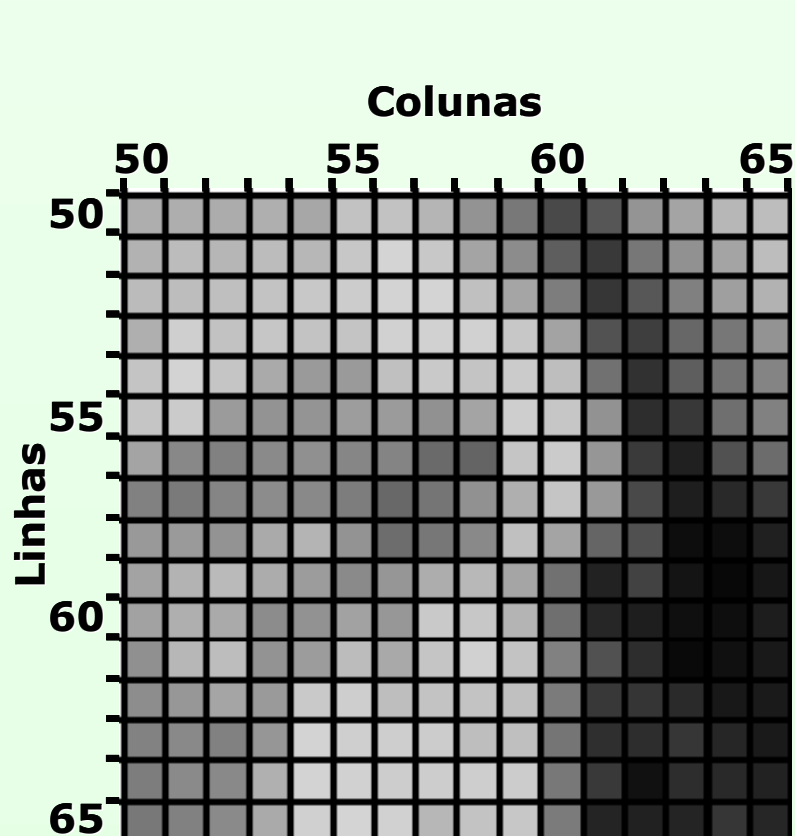


**Imagem discreta resultante do
processo de amostragem e quantização**

Conceitos Fundamentais XXVIII

✦ Geração de uma Imagem Digital III

✦ Notação do Pixel

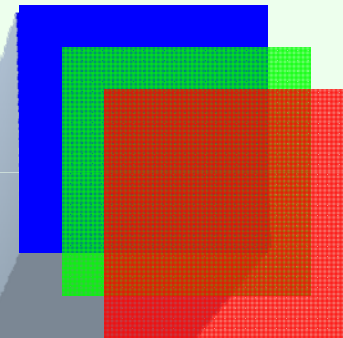


		Colunas															
		50	55	60	65												
Linhas	50	183	183	181	184	177	200	209	189	159	135	94	105	160	174	191	196
		185	195	190	195	191	205	216	206	174	153	112	80	134	157	174	196
		194	196	198	201	206	209	215	216	199	175	140	77	106	142	170	186
		184	212	200	204	201	202	214	214	214	205	173	102	84	120	134	159
		202	215	203	179	168	165	198	207	202	208	197	129	73	112	131	146
	55	203	208	166	159	160	168	166	157	174	211	204	158	69	79	127	143
		174	149	143	151	156	148	146	123	118	203	208	162	81	58	101	125
		143	137	147	153	150	140	121	133	157	184	203	164	94	56	66	80
		164	165	159	179	188	159	126	134	156	199	174	119	100	41	41	58
		173	187	193	181	162	151	162	182	192	175	129	60	88	47	37	50
	60	172	184	179	153	158	172	163	207	205	188	127	63	56	43	42	56
		156	191	196	159	162	195	178	203	214	201	143	101	60	38	44	52
		154	163	175	165	202	211	197	201	201	199	138	79	76	67	51	53
		144	150	143	162	213	212	211	209	197	198	133	71	60	77	63	53
		140	151	150	185	213	214	219	210	211	209	135	80	45	60	66	60
	65	135	143	151	179	213	216	214	191	201	205	138	61	50	61	77	63

Conceitos Fundamentais

XXIX

Representação de uma Imagem Digital I



10	10	16	28		
9	65	70	56	43	
15	32	99	70	56	78
32	21	60	90	96	67
	54	85	85	43	92
		32	65	87	99

$$f(x,y) = \begin{bmatrix} r(x,y) \\ g(x,y) \\ b(x,y) \end{bmatrix}$$

Imagem Colorida I
Composição RGB

Conceitos Fundamentais XXX

Representação de uma Imagem Digital II

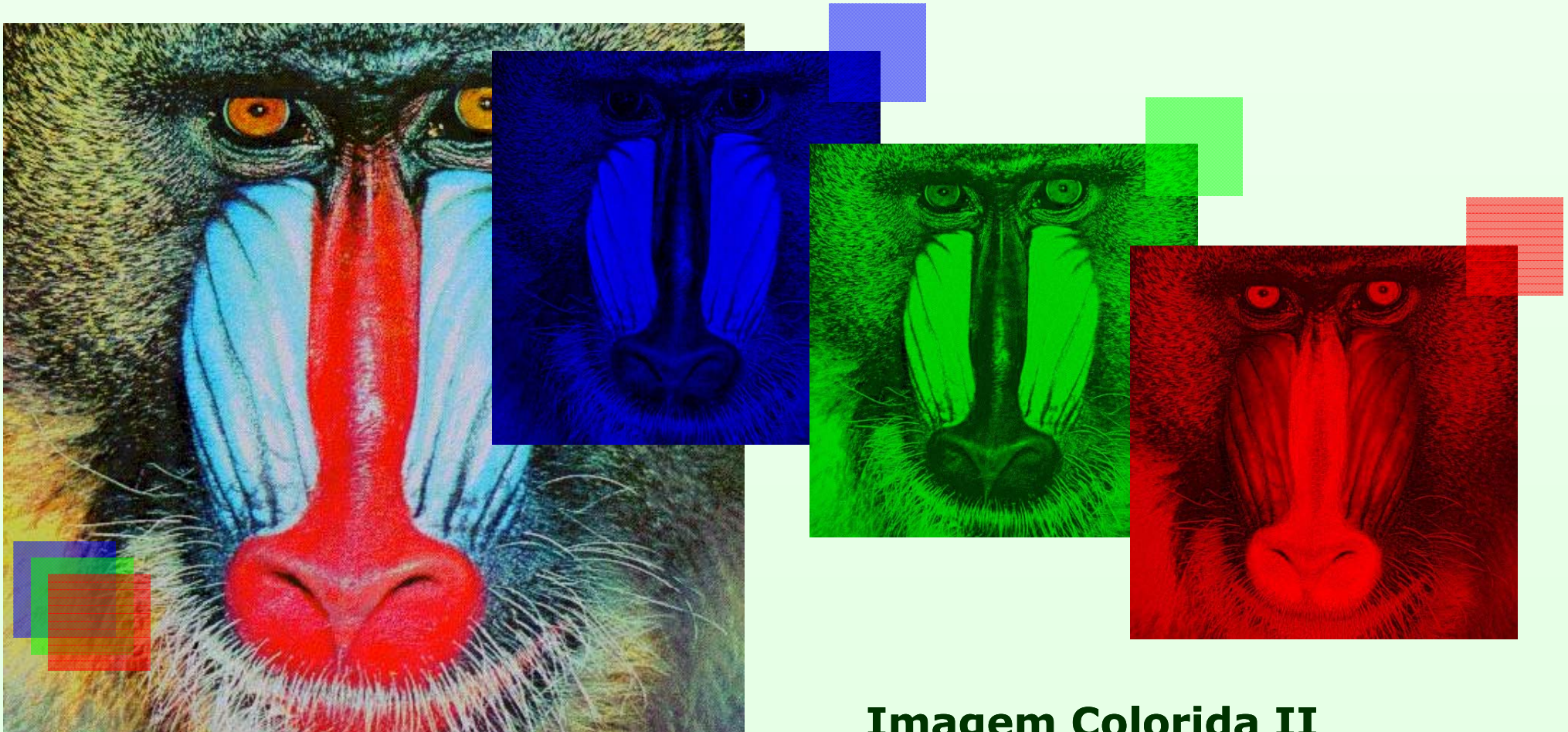
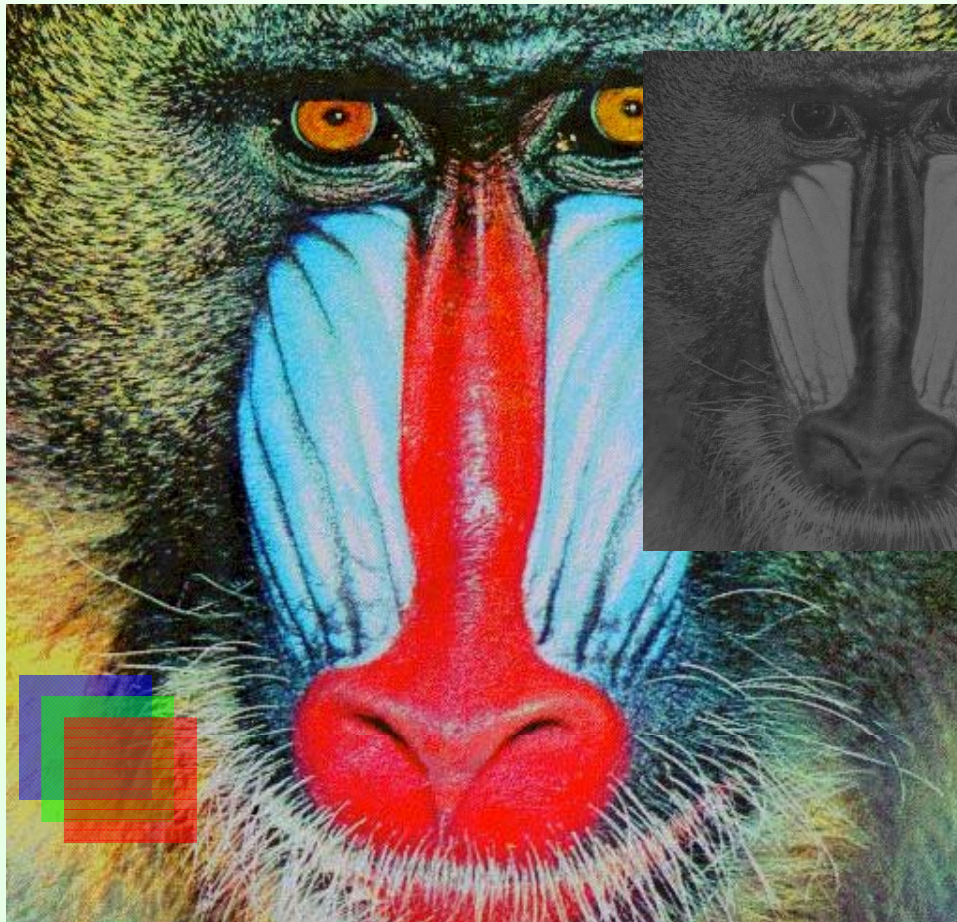


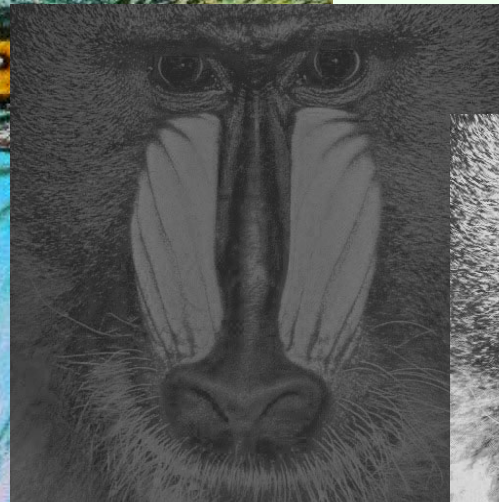
Imagem Colorida II
RGB composta e componentes separadas

Conceitos Fundamentais XXXI

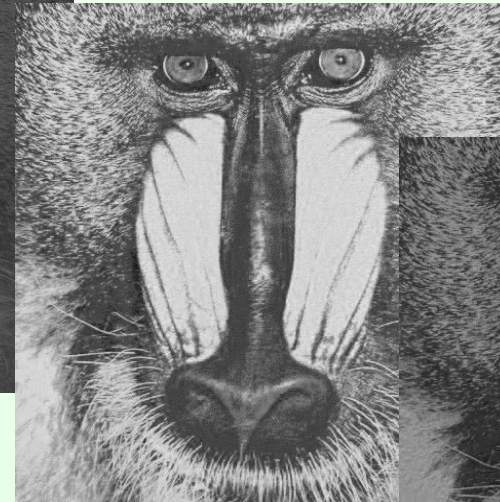
Representação de uma Imagem Digital III



■ nas entradas R, G e B



■ nas entradas R, G e B



■ nas entradas R, G e B

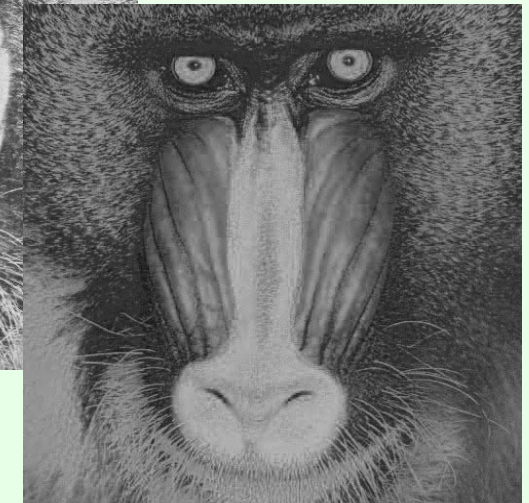


Imagem Colorida III

RGB composta e cada componente nas 3 entradas

Conceitos Fundamentais XXXII

Representação de uma Imagem Digital IV



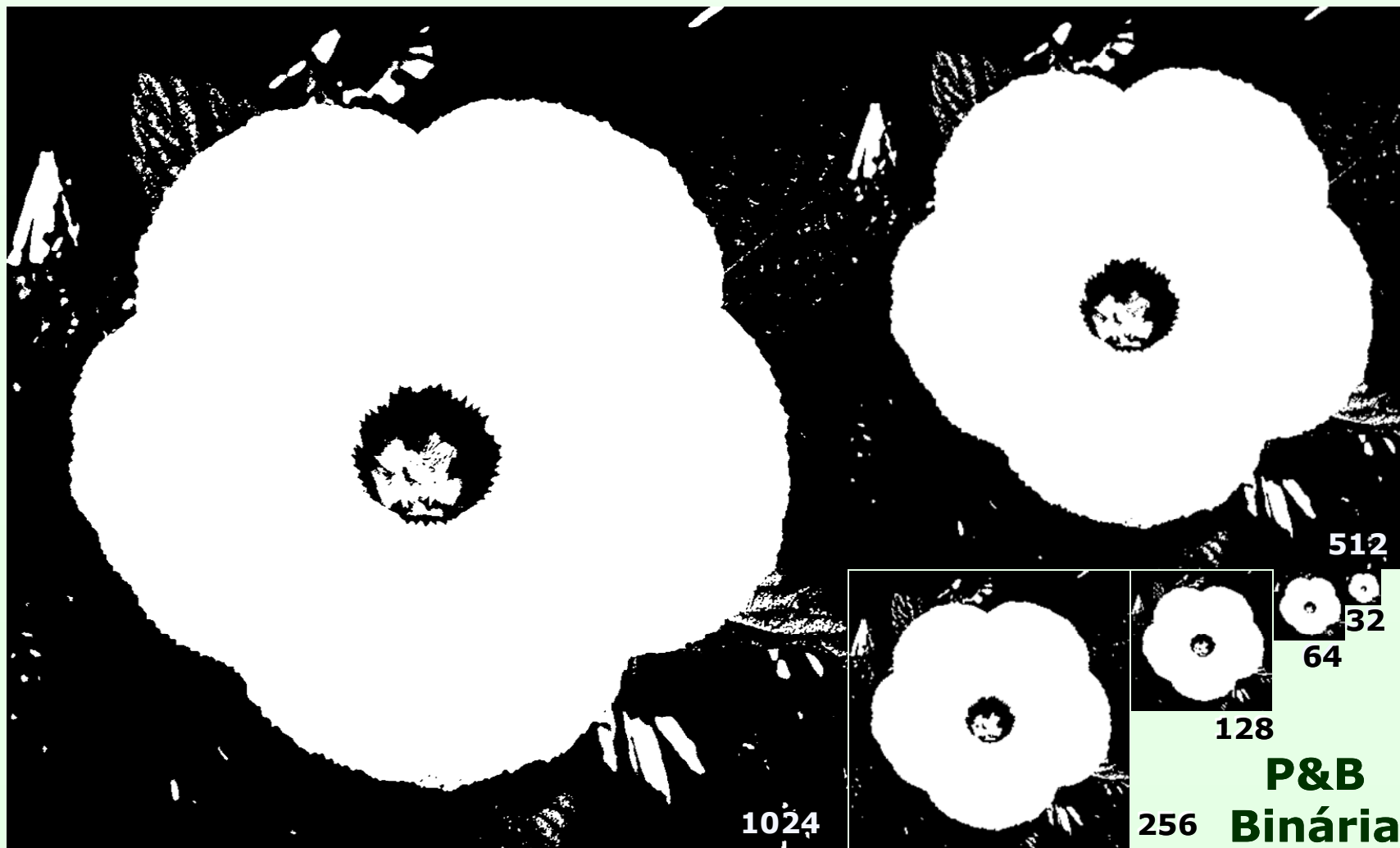
Conceitos Fundamentais XXXIII

Representação de uma Imagem Digital V



Conceitos Fundamentais XXXIV

Representação de uma Imagem Digital VI



Conceitos Fundamentais XXXV

Representação de uma Imagem Digital VII



Conceitos Fundamentais XXXVI

Representação de uma Imagem Digital VIII



Conceitos Fundamentais XXXVII

Representação de uma Imagem Digital IX

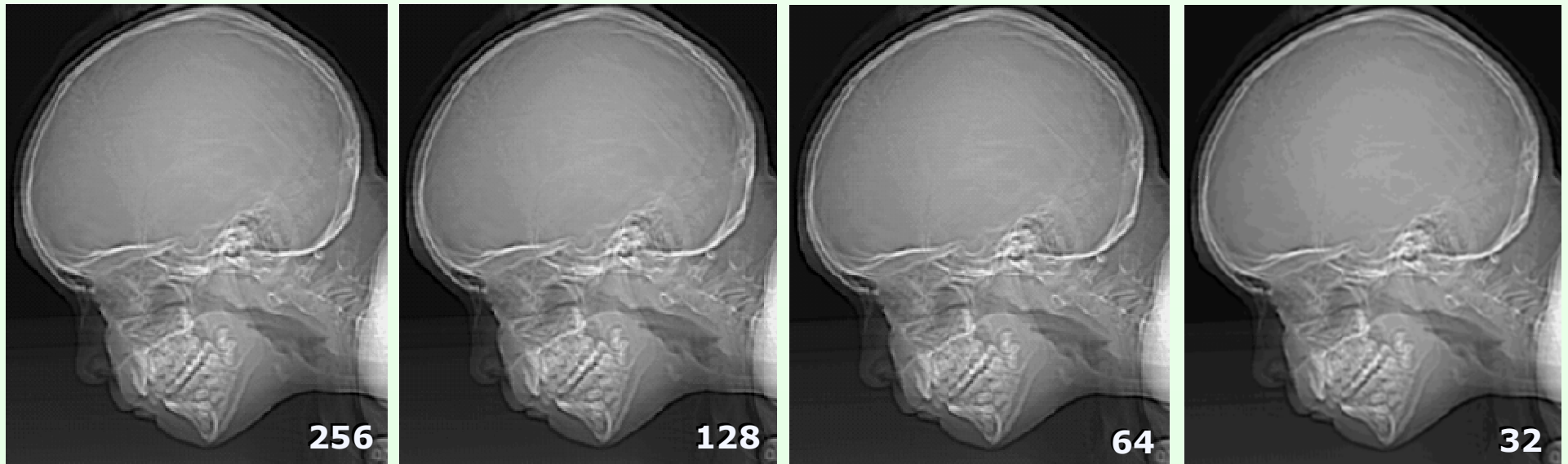


Redução da Resolução Espacial II

Conceitos Fundamentais XXXVIII

⊠ Representação de uma Imagem Digital X

⊕ Resolução Radiométrica I



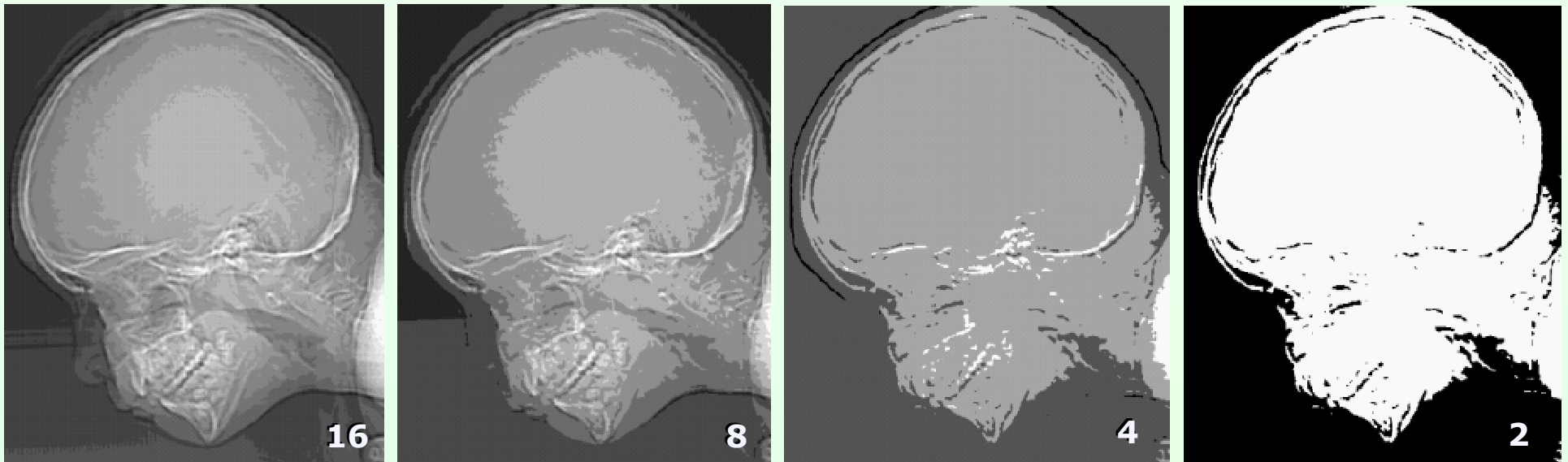
FONTE: (Gonzalez & Woods, 2002)

Raio X do crânio convertido em uma imagem digital de 452x374 pixels com resolução radiométrica de 256, 128, 64 e 32 níveis de cinza.

Conceitos Fundamentais XXXIX

⊠ Representação de uma Imagem Digital XI

⊕ Resolução Radiométrica II



FONTE: (Gonzalez & Woods, 2002)

Raio X do crânio convertido em uma imagem digital de 452x374 pixels com resolução radiométrica de 256, 128, 64 e 32 níveis de cinza.

Conceitos Fundamentais LX

- # **Representação de uma Imagem Digital XII**
 - ⊕ **Processamento de Imagens Coloridas**
 - ✧ **Coloração real (*Full color*)**
 - ✧ **Uso de imagens tipicamente adquiridas a partir de sistemas de imageamento em cores (*full color*)**
 - ✦ **Câmara de TV, *scanner*, câmara fotográfica digital**
 - ✧ **Pseudocoloração (*Pseudocolor*)**
 - ✧ **Atribuição de cores a faixas de intensidades monocromáticas**

Conceitos Fundamentais L

✦ Deformação ou Degradação da Imagem Digital

✦ Introdução por cada subsistema de formação da imagem digital

✧ E.g. distorção radiométrica, distorção geométrica, incorporação de ruído, transformação não linear

✦ Relevância da modelagem matemática ⇒ Restauração da imagem digital

✧ Redução das deformações

✧ Minimização das degradações

Conceitos Fundamentais LI

Técnicas de Realce de Imagens

Melhoramento da qualidade visual da imagem digital

- ✧ Realce de contraste
- ✧ Aguçamento de bordas
- ✧ Redução de ruído
- ✧ Pseudocolorização
- ✧ *Halftoning*

Embasamento mais heurístico do que as técnicas de restauração (fundamentos matemáticos rigorosos)

Conceitos Fundamentais LII

⊠ Conteúdo de Freqüência de uma Imagem Digital I

⊠ Relevância nos processos de filtragem digital do ruído e de restauração e compressão da imagem digital

⊠ Obtenção do conteúdo de freqüência de uma imagem digital ⇒ Transformadas de imagem

⊠ Teoria das Transformadas

✧ Parte integral do PDI

Conceitos Fundamentais

LIII

✦ **Formação da Imagem Digital**

✦ **Conteúdo de Frequência de uma Imagem Digital II**

- ✦ **Uso de transformadas bidimensionais** ⇒ **Imagens digitais são sinais bidimensionais**
- ✦ **Necessidade de computação de um grande número de operações numéricas (multiplicações e adições)**
- ✦ **Importância da concepção de algoritmos de transformadas rápidas**

Conceitos Fundamentais

LIV

✦ Armazenamento de Imagens Digitais

✦ Necessidade de grande quantidade de memória

✧ Câmara de vídeo produzindo imagens coloridas de (640 x 480) pixels a 30 fps \Rightarrow 27,65 MB de dados/s

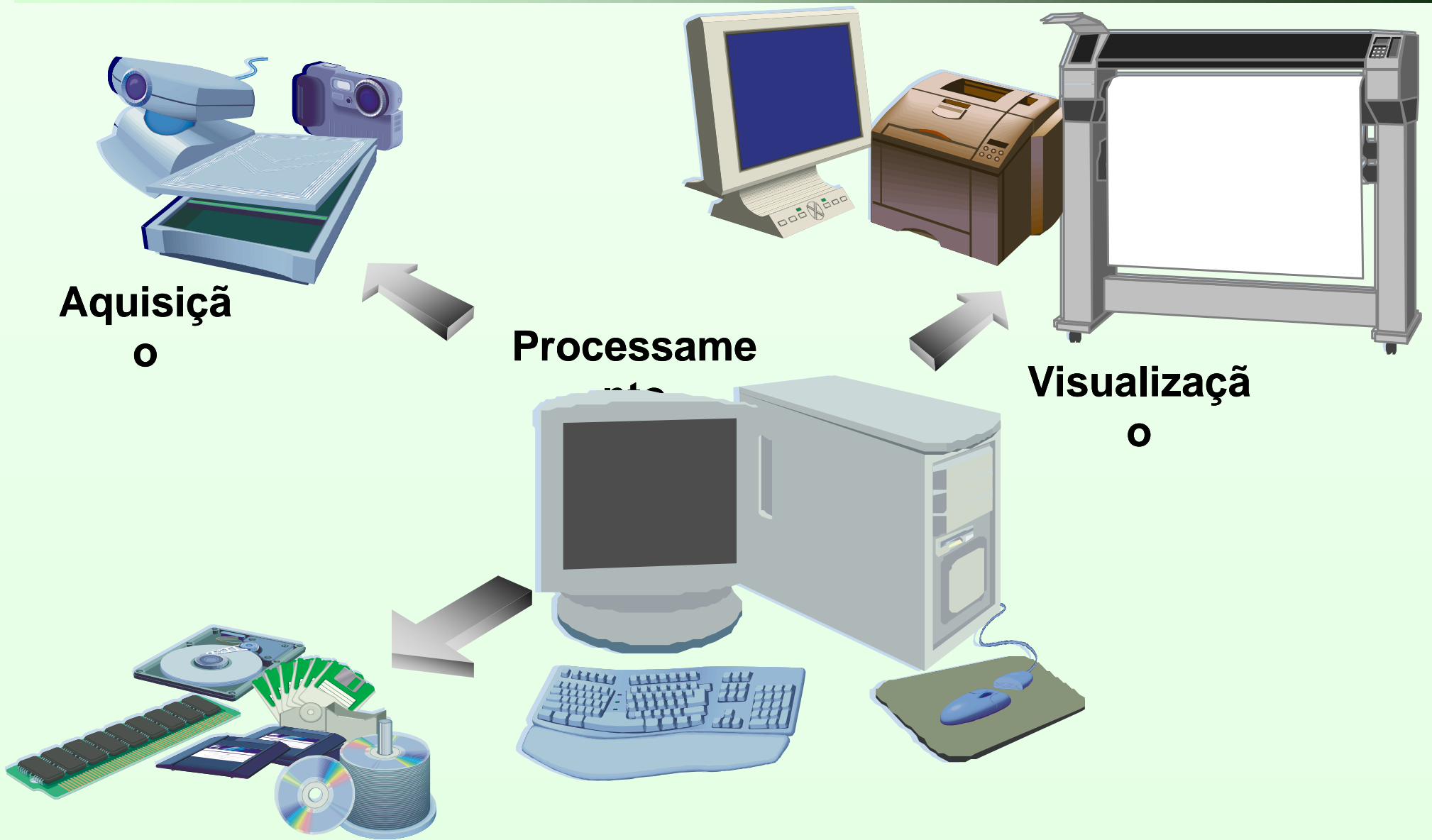
✦ Redução de requisitos de memória

✧ Compressão e codificação digital

✧ Redundância de informação existente na imagem

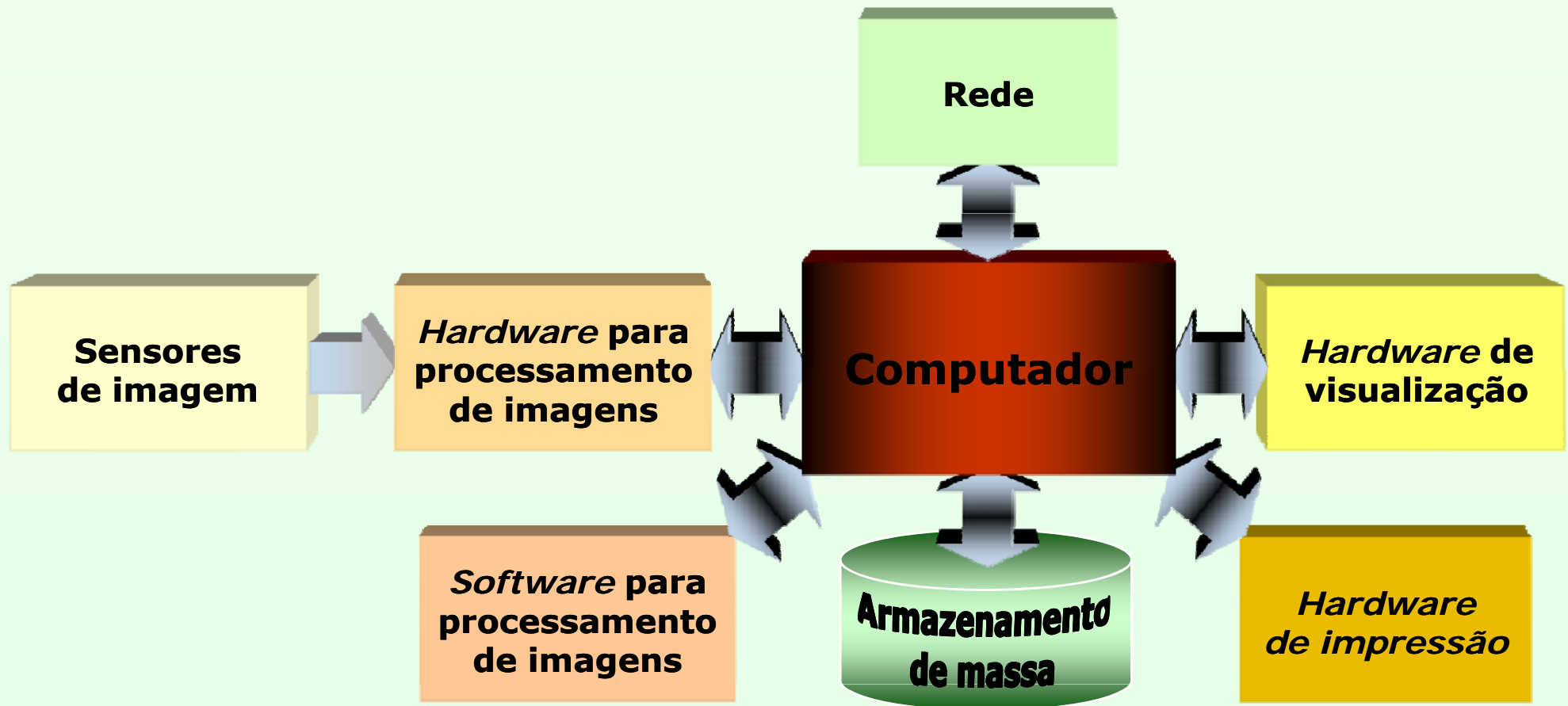
✧ Relevância em várias aplicações (e.g. bases de dados de imagens, transmissão digital de imagens, vídeo digital, TV de alta definição)

Sistema Típico de PDI I



Sistema Típico de PDI

II



Operações em Imagens I

Classificação e Caracterização de Imagens Digitais

⊕ Compreensão do processamento feito

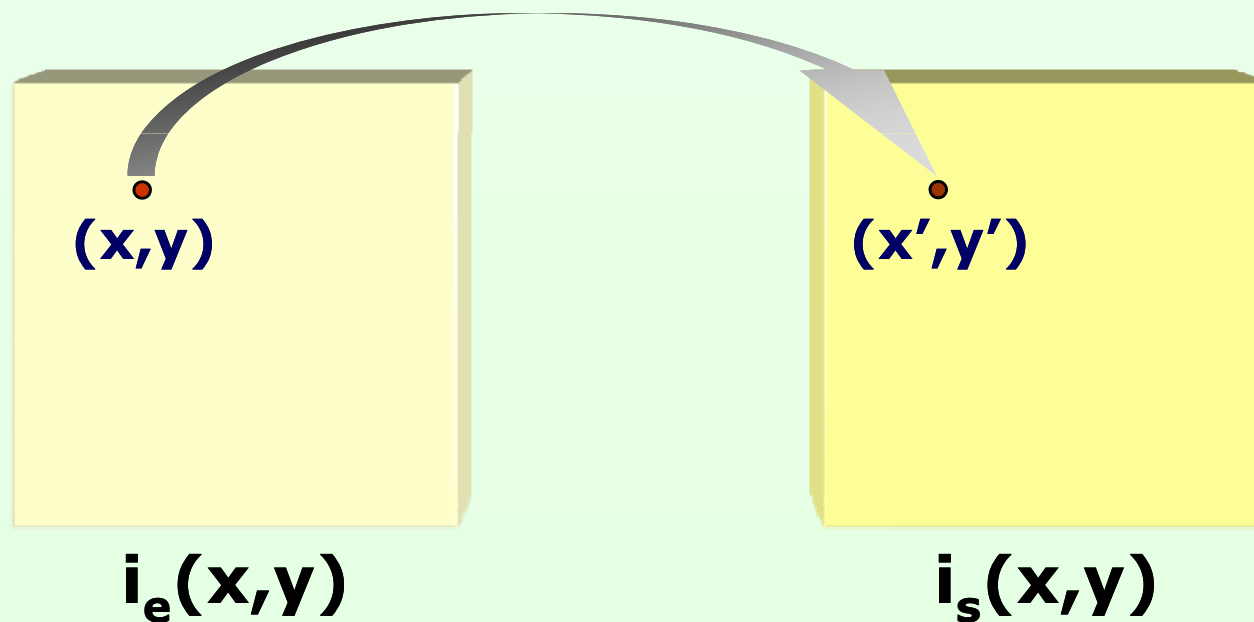
- ✧ **Qual** o tipo de resultado esperar de uma operação
- ✧ **Qual** o esforço computacional associado uma operação

Operações em Imagens II

⊠ Tipos

⊕ Pontuais

- ✧ O valor de saída em uma coordenada específica depende apenas do valor de entrada naquela coordenada



Operações em Imagens III

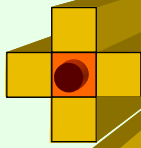
Tipos

Locais

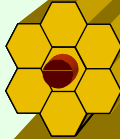
- ✧ O valor de saída em uma coordenada específica depende de valores de entrada da vizinhança daquela coordenada

Tipos de Vizinhança

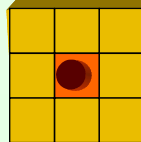
4-conectada



6-conectada



8-conectada



(x,y)

$i_e(x,y)$

(x',y')

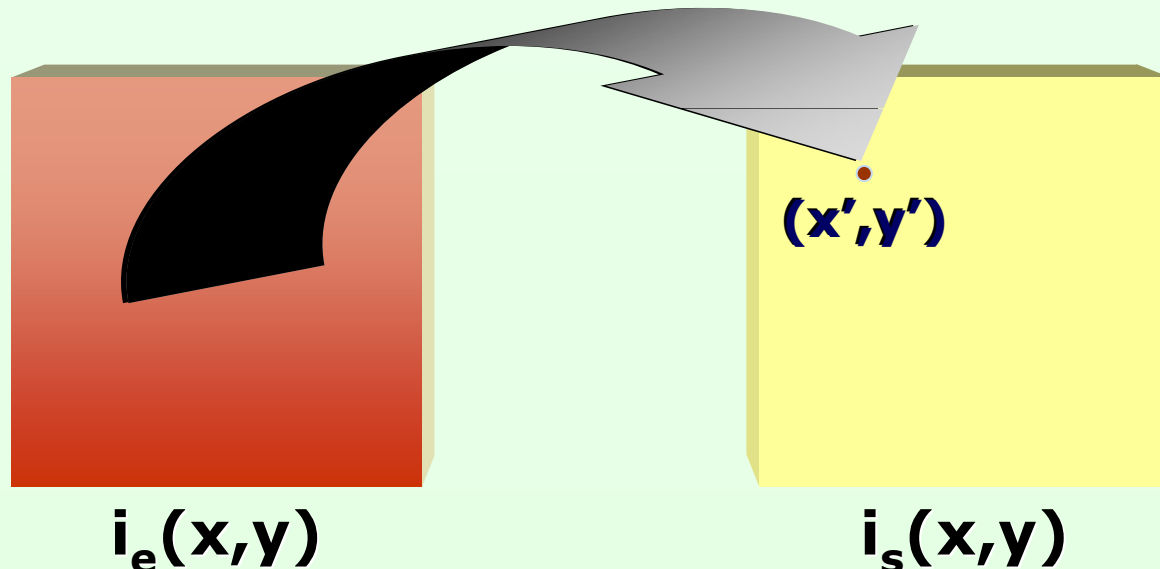
$i_s(x,y)$

Operações em Imagens IV

✦ Tipos

✦ Globais

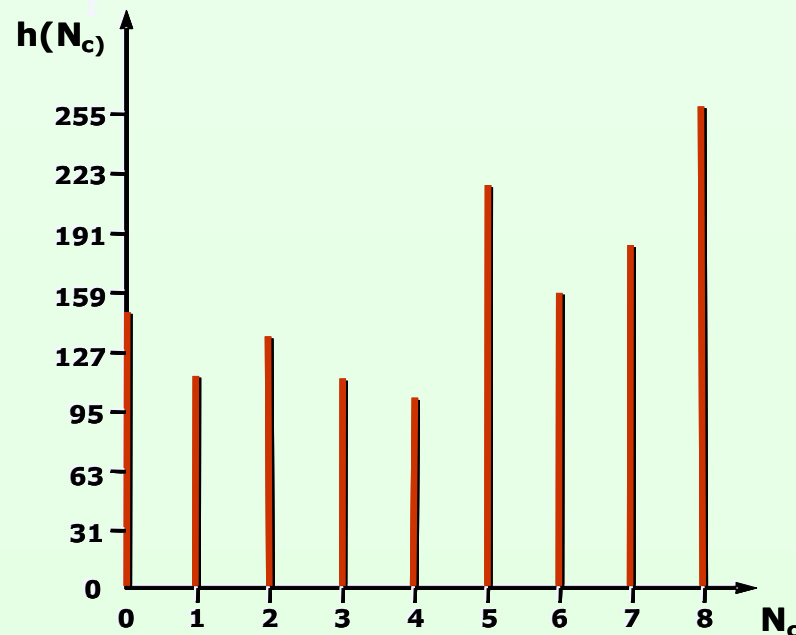
- ✦ O valor de saída em uma coordenada específica depende de todos os valores da imagem de entrada



Operações em Imagens V

Histograma I

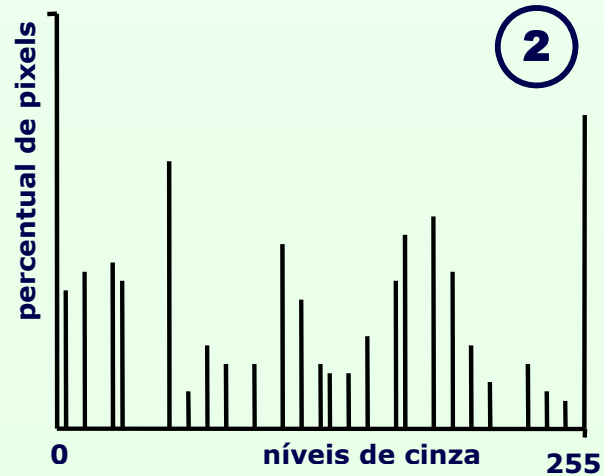
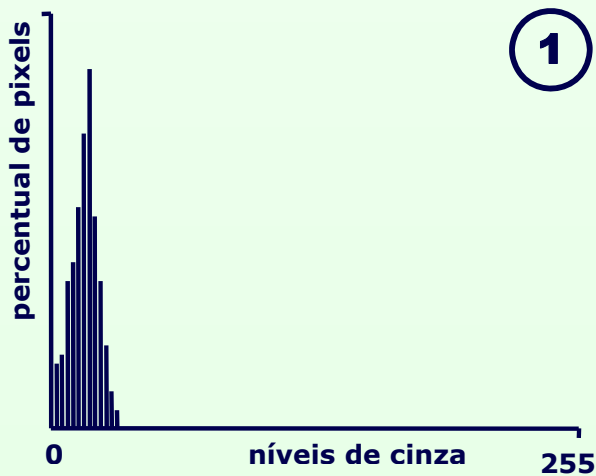
- ⊕ Representação gráfica do número de vezes em que cada nível de cinza aparece em uma imagem digital ⇒ **Frequência de ocorrência dos valores de brilho na imagem**



Operações em Imagens VI

Histograma II

⊕ Exemplos de Histogramas



Operações em Imagens VII

⊞ Transformação da Escala de Cinza I

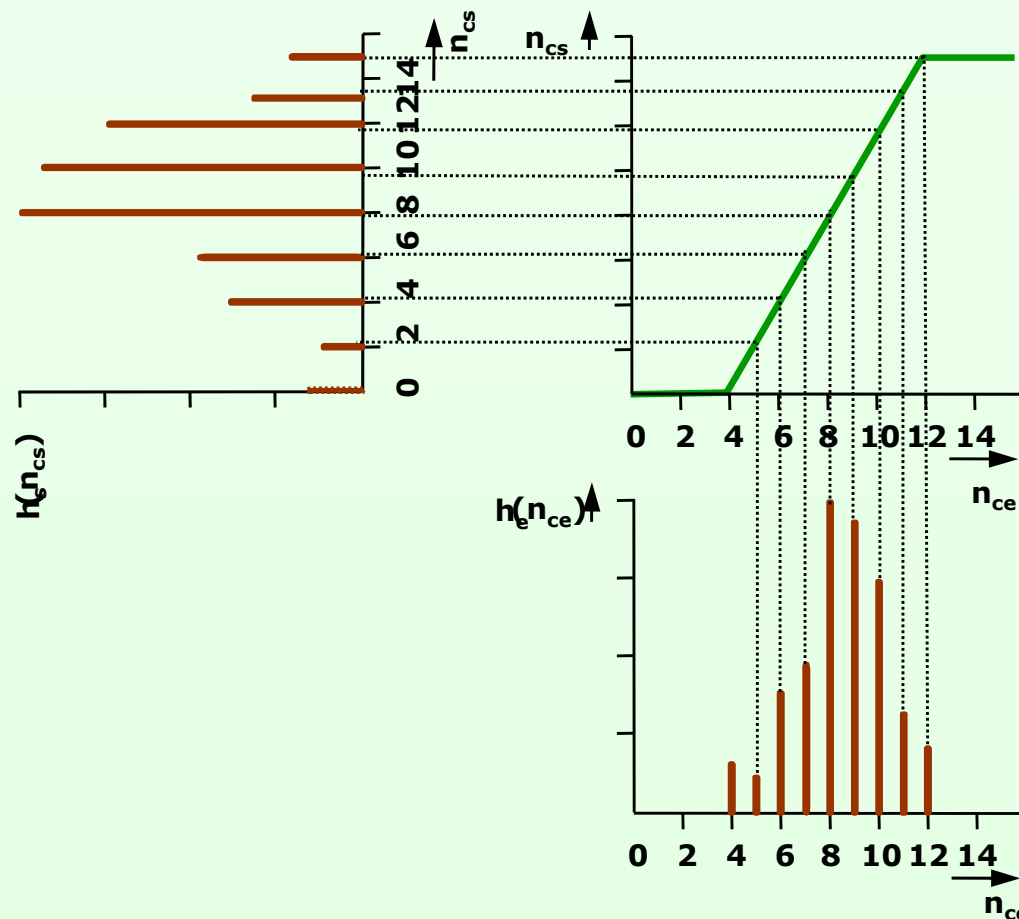
⊞ Operações Histogramáticas

- ✧ Expansão/ Compressão de Contraste
- ✧ Equalização Histogramática

Operações em Imagens VIII

Transformação da Escala de Cinza II

Expansão Linear de Contraste



LUT

n_{ce}	n_{cs}
0	0
1	0
2	0
3	0
4	0
5	2
6	4
7	6
8	8
9	10
10	12
11	13
12	15
13	15
14	15
15	15

Operações em Imagens IX

✦ Transformação da Escala de Cinza III

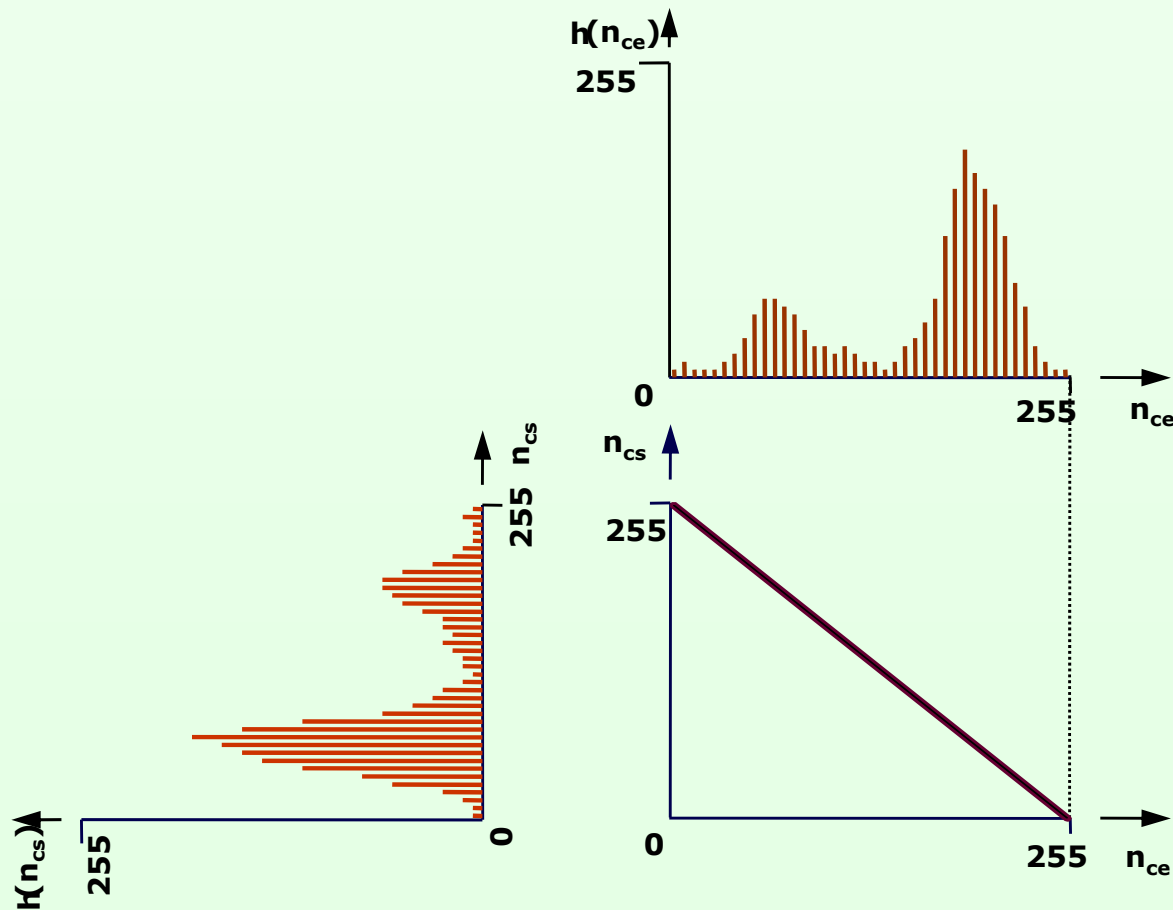
✦ Expansão Linear de Contraste - Exemplo



Operações em Imagens X

Transformação da Escala de Cinza IV

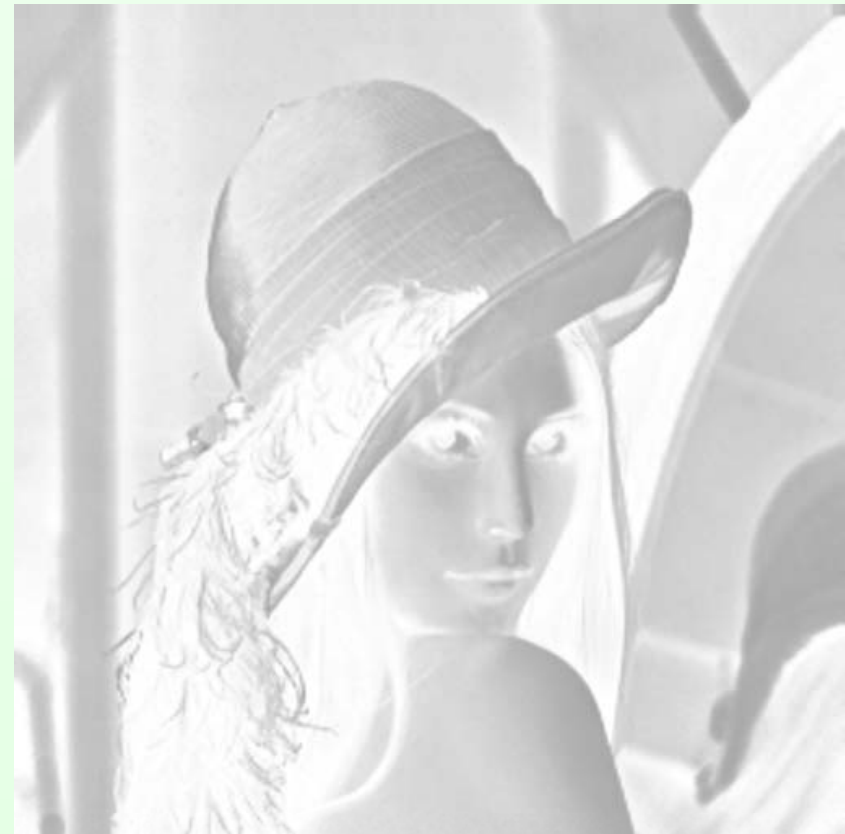
Inversão Linear de Contraste



Operações em Imagens XI

✦ Transformação da Escala de Cinza V

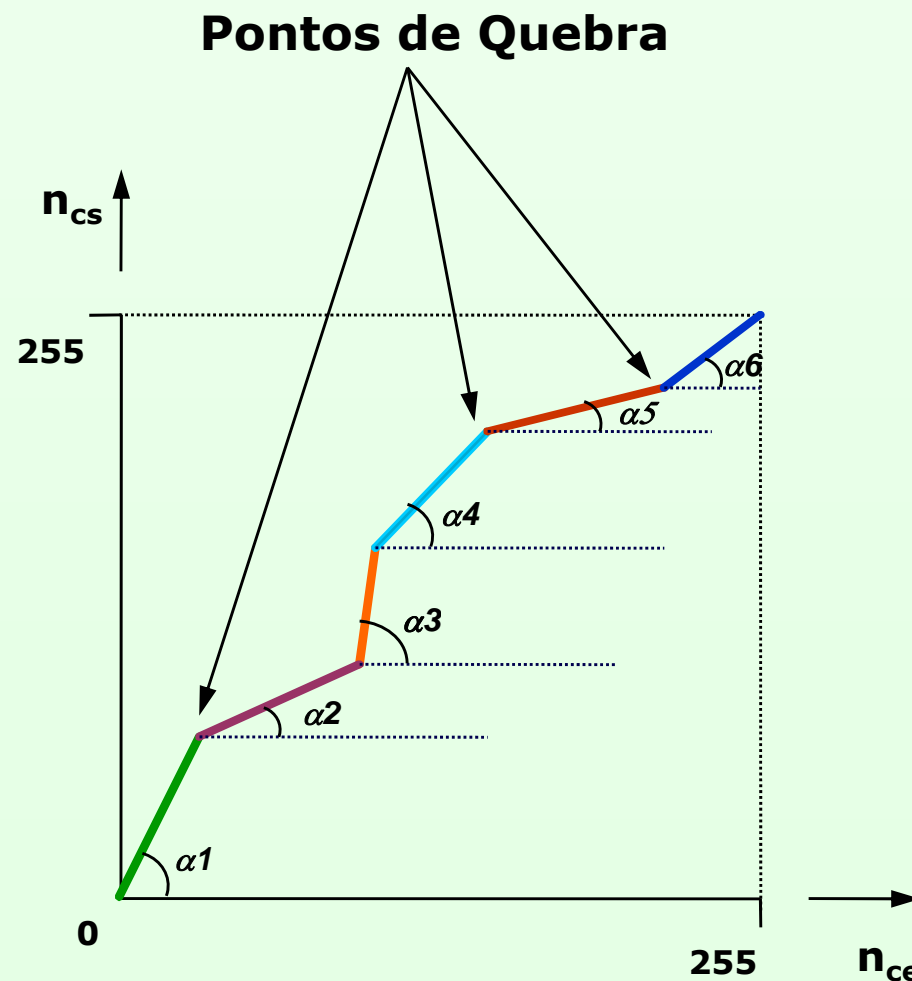
✦ Inversão Linear de Contraste - Exemplo



Operações em Imagens XII

✦ Transformação da Escala de Cinza VI

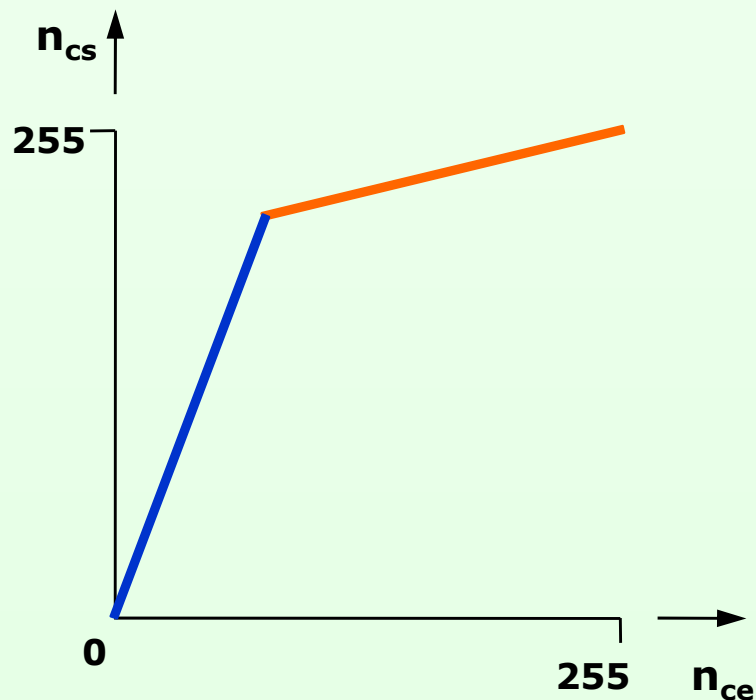
✦ Expansão de Contraste Linear por Partes I



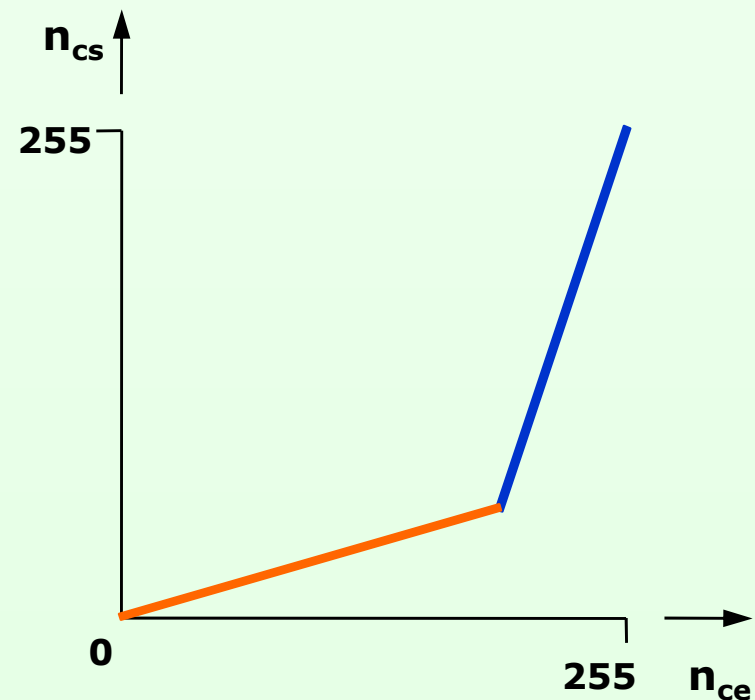
Operações em Imagens XIII

Transformação da Escala de Cinza VII

Expansão de Contraste Linear por Partes II



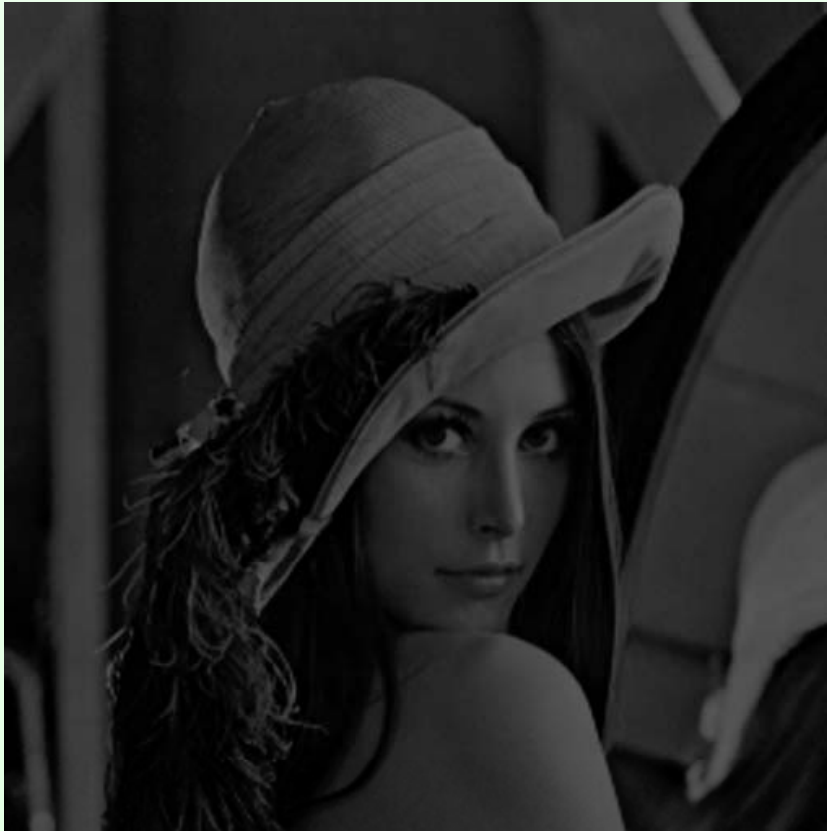
Expansão de Componentes Escuras com Compressão de Componentes Claras



Expansão de Componentes Claras com Compressão de Componentes Escuras

Operações em Imagens XIV

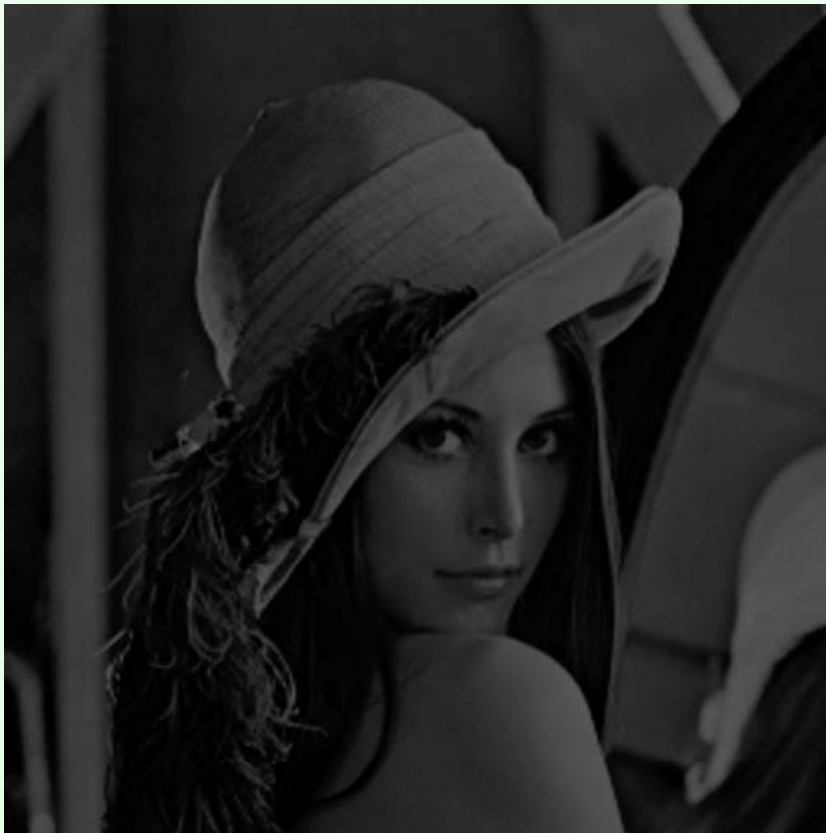
- ✦ **Transformação da Escala de Cinza VIII**
 - ✦ **Expansão de CE com Compressão de CC – Exemplo**



Operações em Imagens XV

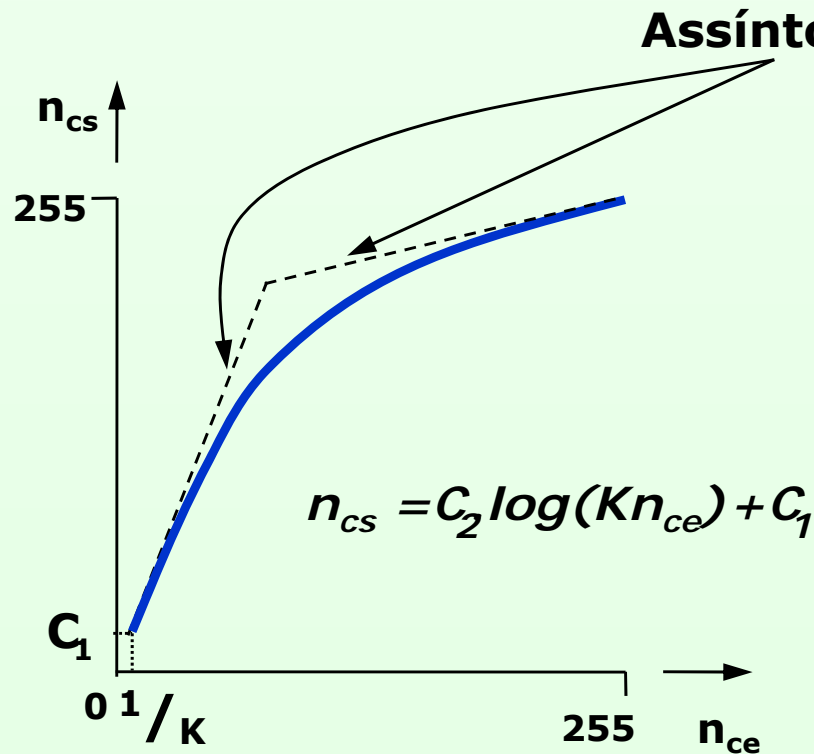
Transformação da Escala de Cinza IX

Compressão de CE com Expansão de CC – Exemplo

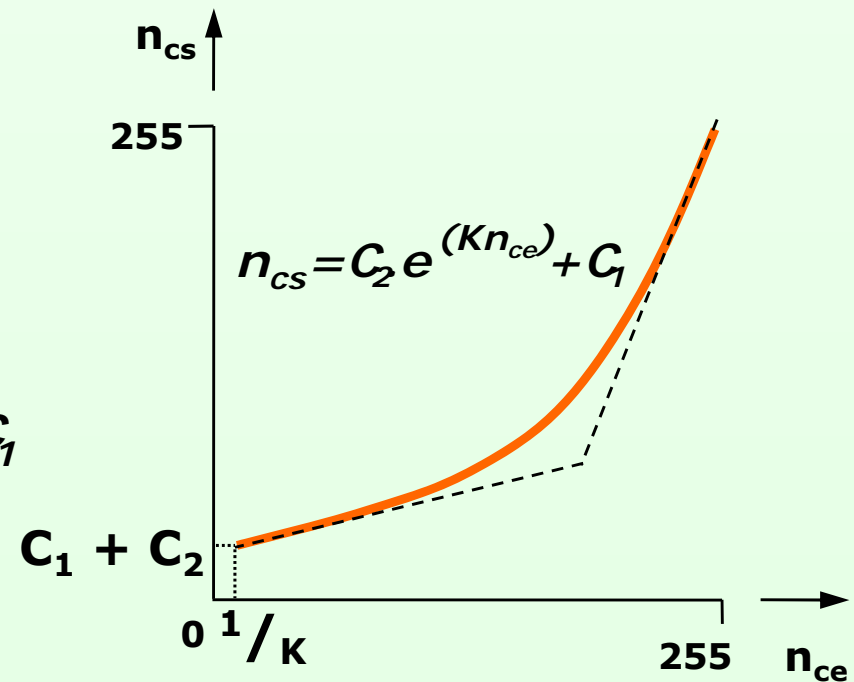


Transformação da Escala de Cinza X

Expansão de Contraste Não Linear



Expansão de Componentes Escuras com Compressão de Componentes Claras

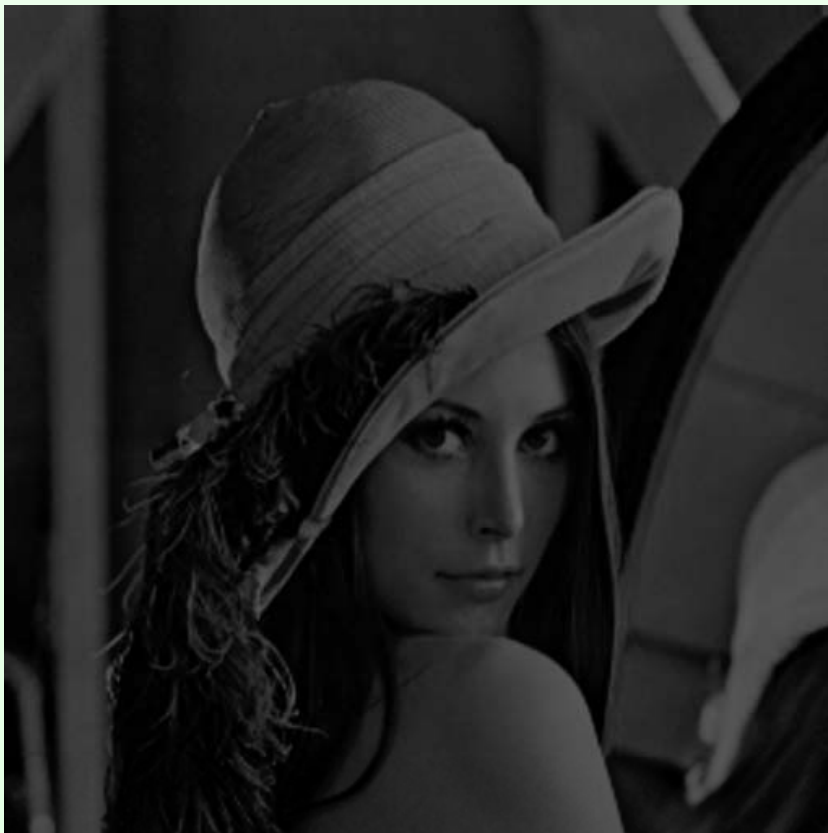


Expansão de Componentes Claras com Compressão de Componentes Escuras

Operações em Imagens XVII

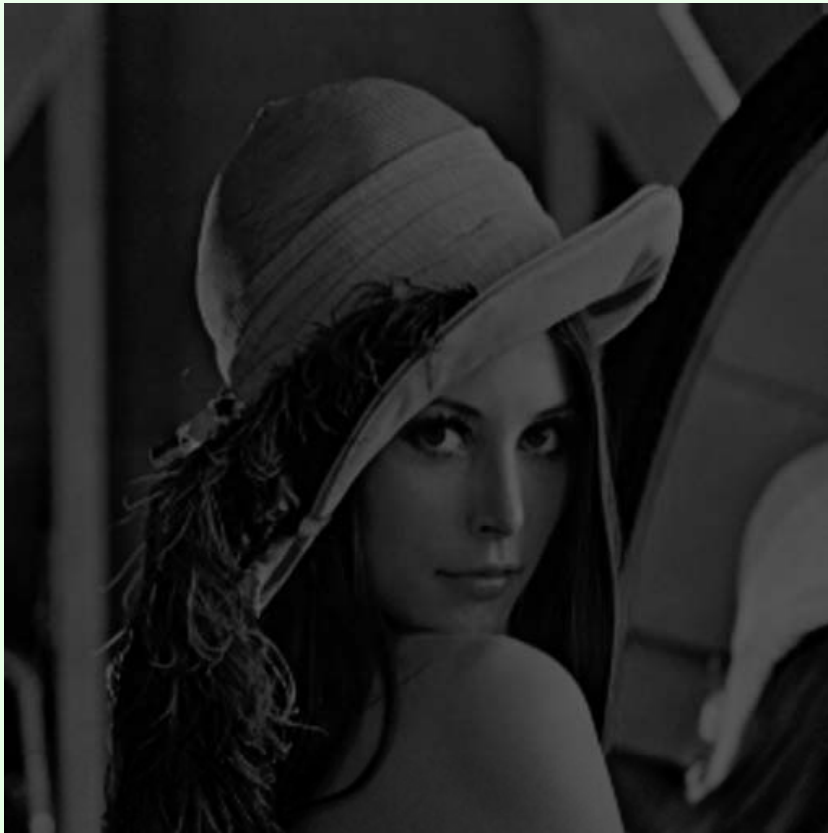
✦ Transformação da Escala de Cinza XI

✦ Expansão de Contraste Não Linear – Exemplo EECC



Operações em Imagens XVIII

- ✦ **Transformação da Escala de Cinza XII**
 - ✦ **Expansão de Contraste Não Linear – Exemplo EECC**



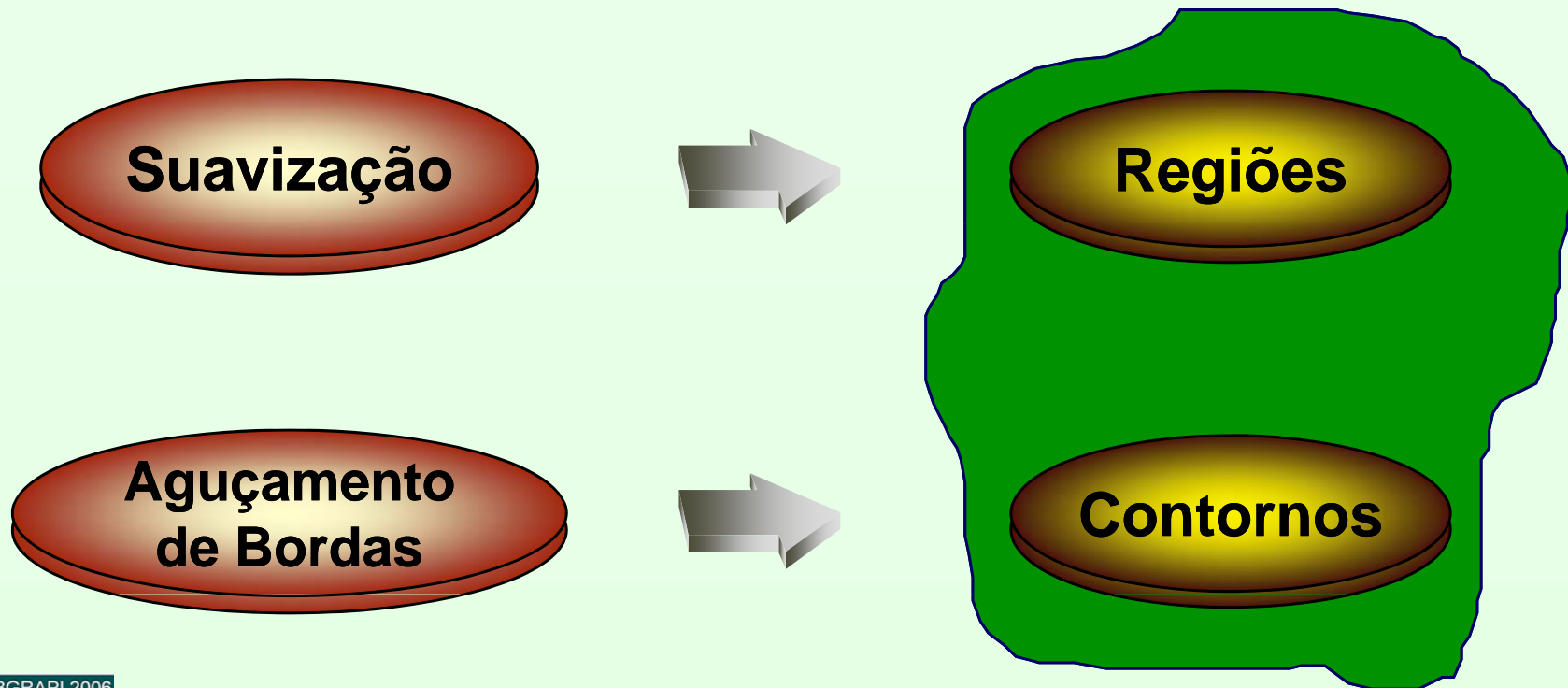
Filtragem Espacial I

- # Redução de *ruído*/ Homogeneização de de *regiões*
- # Discriminação de características
 - ⊕ *Contornos*
 - ⊕ *Regiões*
 - ⊕ *Textura*

⊠ Operadores de Vizinhança

⊠ **Transformação dos pixels**

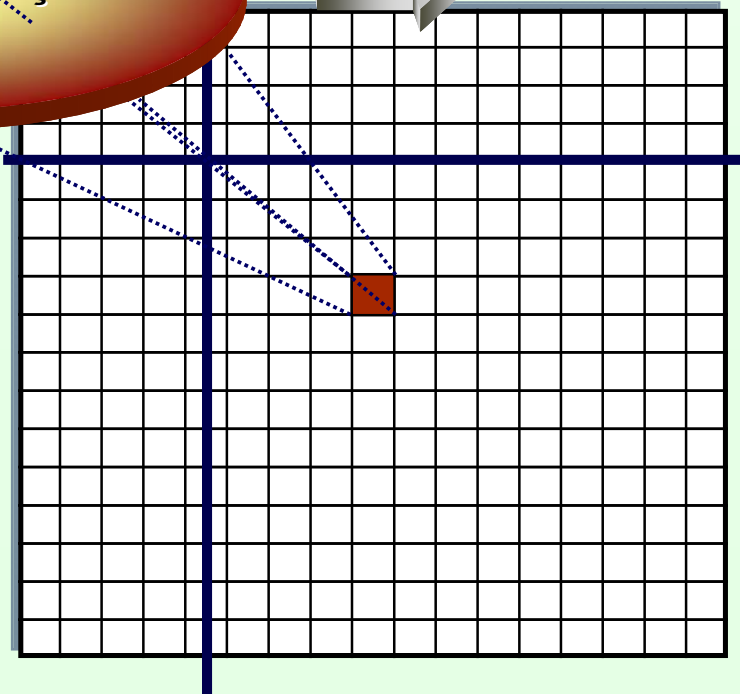
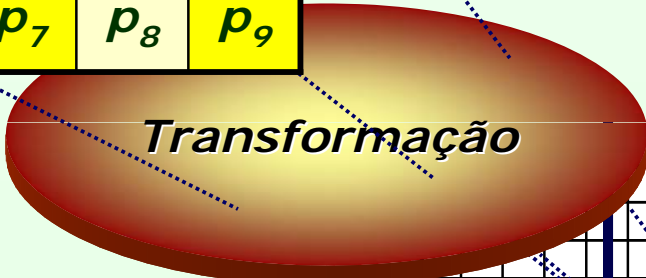
⊠ **Consideração da correlação espacial**



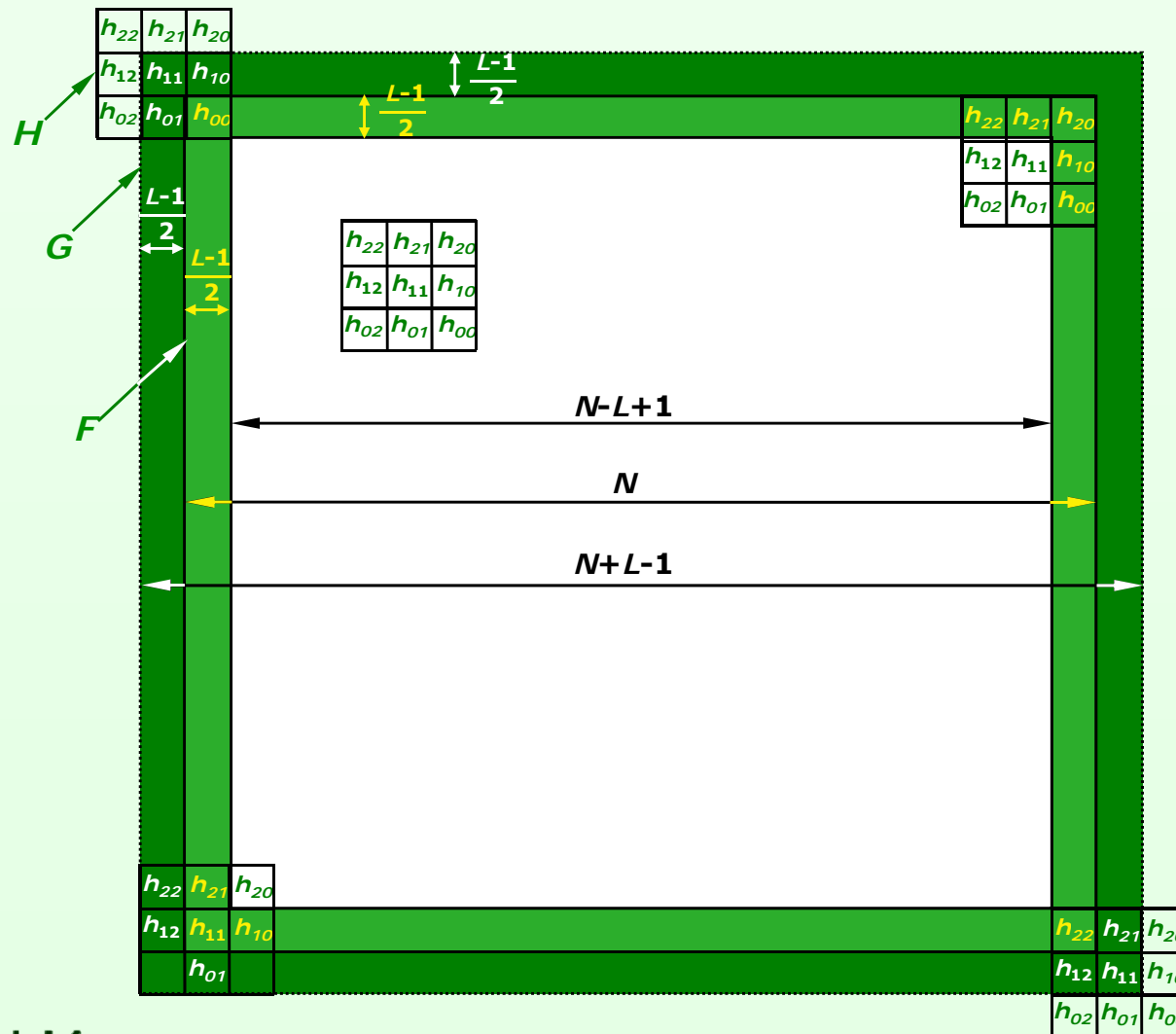
⊕ Convolução Espacial I

p_1	p_2	p_3
p_4	p_5	p_6
p_7	p_8	p_9

$$I_s(x,y) = \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} I_e(x-i,y-j) \cdot m(i,j)$$



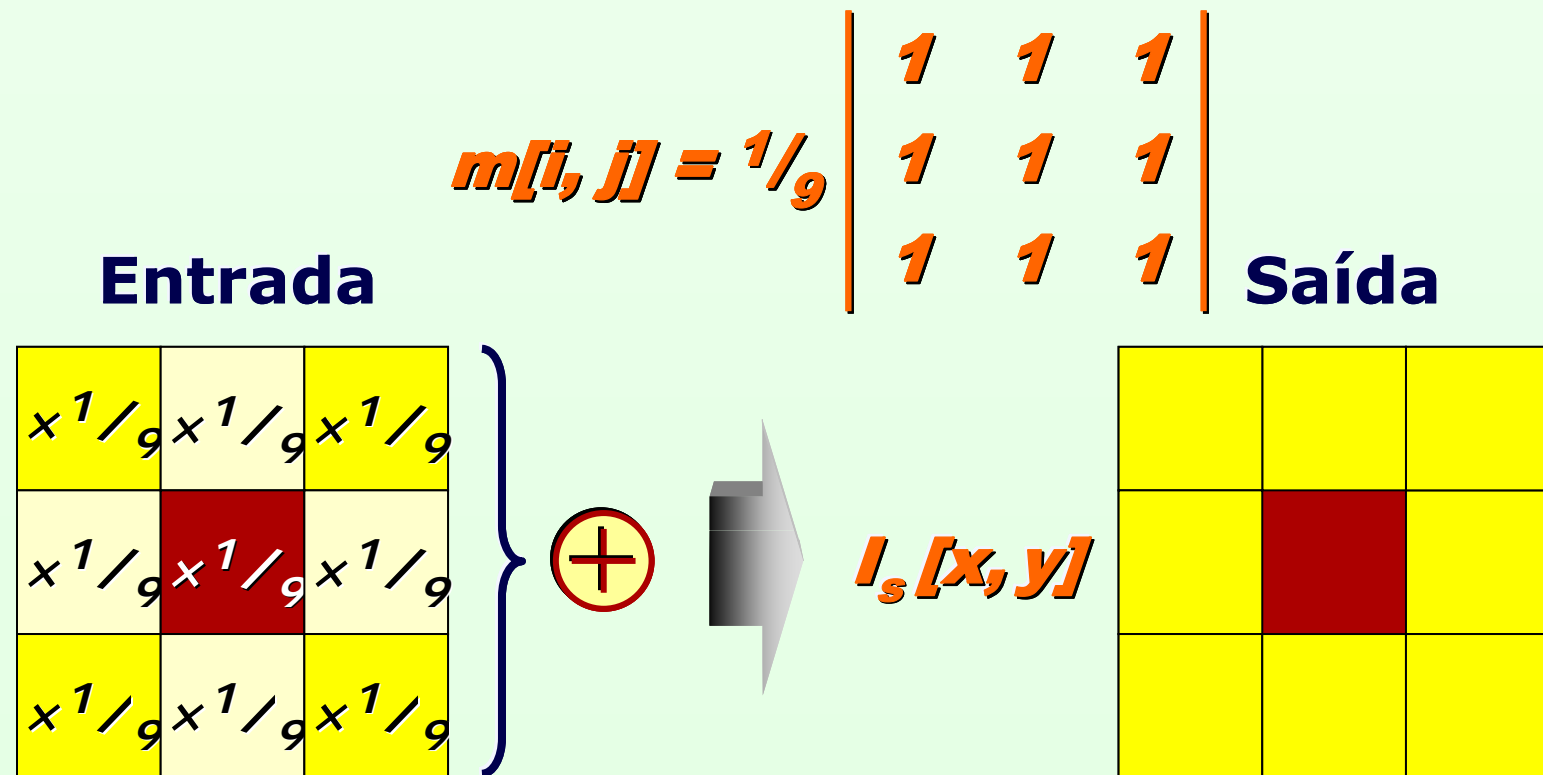
⊕ Convolução Espacial I - Considerações



Filtragem Espacial IV

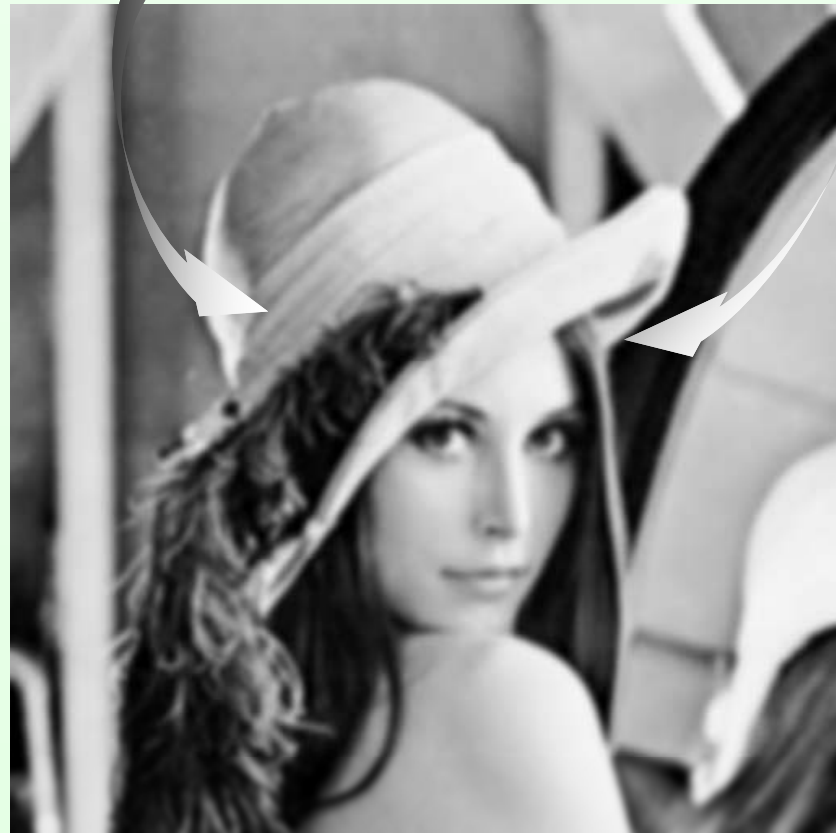
⊕ Convolução Espacial II - Máscara ou Kernel

⊕ Filtro **box** discreto $(3 \times 3) \Rightarrow a^2=9$



⊕ Convolução Espacial III - Suavização de Bordas

⊕ Filtro *box 3x3*



Bordas suavizadas

Convolução Espacial III - Detecção de Bordas

⊕ Uso de grupos de linhas vizinhas

- ✧ Minimização de bordas com um único pixel
- ✧ Direcionamento preferencial do processo de detecção
 - ✧ Operadores de gradiente
 - ✦ Prewitt
 - ✦ Robert
 - ✦ Sobel

⊕ Convolução Espacial IV - Detecção de Bordas II

⊕ Operador de Prewitt

$$m[i, j] = \begin{vmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad \text{Bordas verticais}$$

$$m[i, j] = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{vmatrix} \quad \text{Bordas horizontais}$$

Convolução Espacial V - Detecção de Bordas III

⊕ Operador de Sobel

- ✧ Redução do peso para as linhas/colunas vizinhas

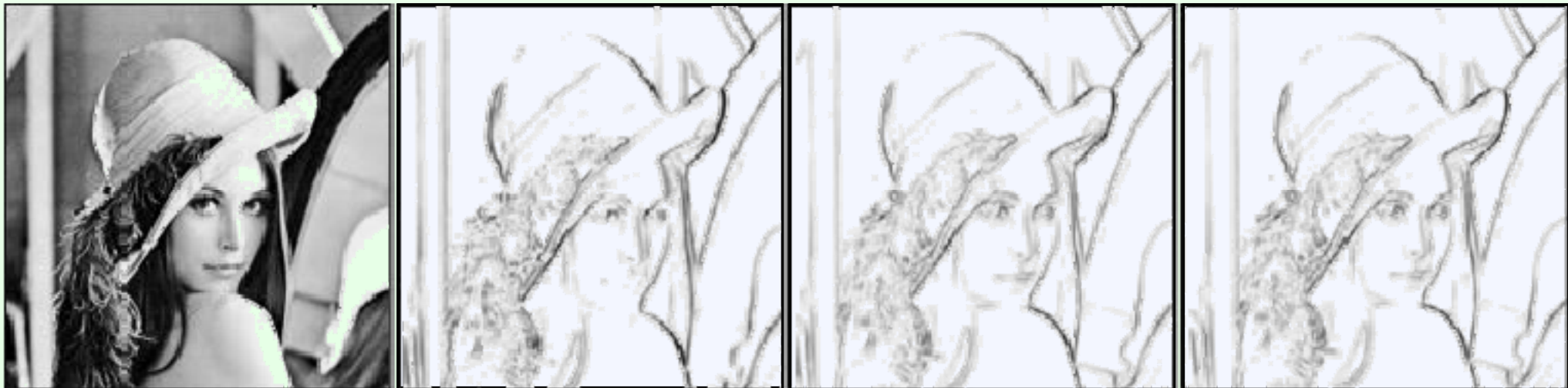
$$m[i, j] = \begin{vmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad \text{Bordas verticais}$$

$$m[i, j] = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{vmatrix} \quad \text{Bordas horizontais}$$

Filtragem Espacial VIII

⊕ Convolução Espacial V - Detecção de Bordas IV

⊕ Operador de Gradiente - Exemplo comparativo



Robert

Prewitt

Sobel

⊕ Convolução Espacial VI – Aguçamento de Bordas (*Sharpening*)

- ⊕ Identificação e destaque (aguçamento) de bordas, seguida de sua adição à imagem

$$I_s[x,y] = I_s[x,y] - \alpha \times \text{borda}[x,y]$$

$$m[i, j] = \begin{vmatrix} 0 & -\alpha & 0 \\ -\alpha & 1+4\alpha & -\alpha \\ 0 & -\alpha & 0 \end{vmatrix}$$

Filtro *laplaciano* discreto **3x3**

Filtragem Espacial IX

⊕ Convolução Espacial VI – Aguçamento de Bordas (*Sharpening*)

⊕ Operador *laplaciano 3x3* - Exemplo



Filtros Morfológicos I

⊞ Fundametação em operações morfológicas básicas

⊕ Erosão

$$\delta_A(X) = X \oplus A = \{x + a \mid x \in X, a \in A\}$$

⊕ Dilatação

$$\xi_A = X \ominus A = \{h \mid a \in h \in X, \forall a \in A\}$$

onde:

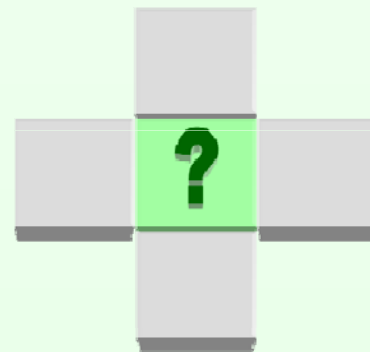
✧ **X** ➔ Imagem

✧ **A** ➔ Elemento estrutural

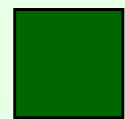
✦ Elementos estruturantes usuais



Cruz



Bloco



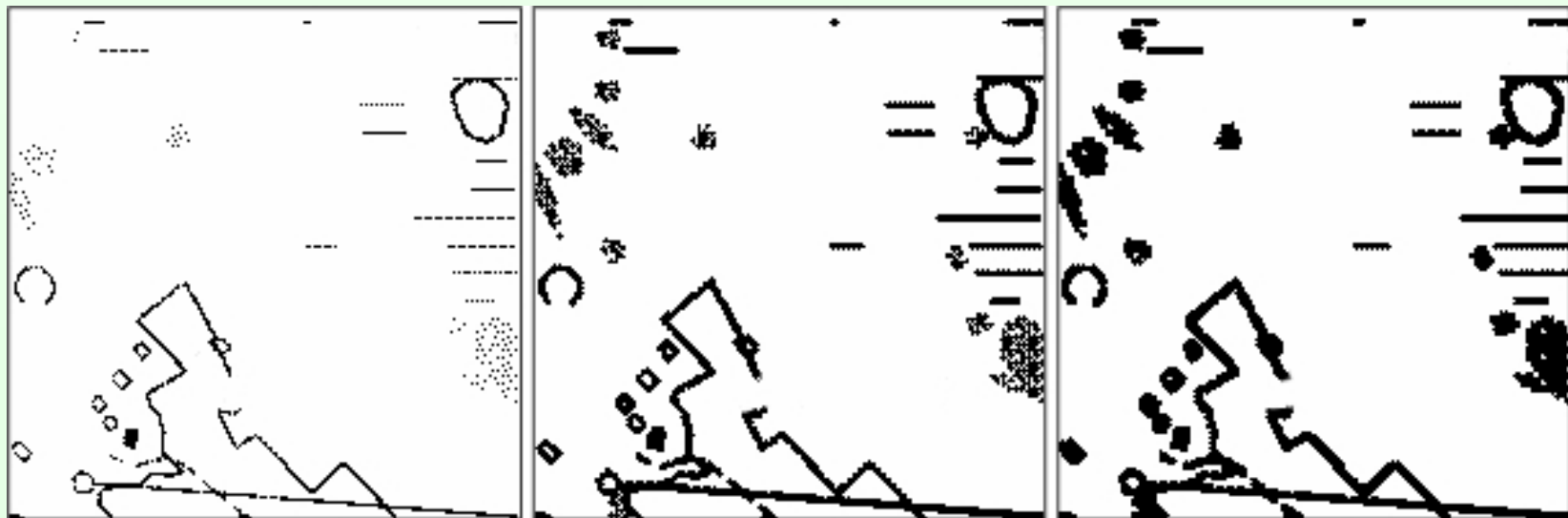
Qualquer outra forma

Filtros Morfológicos

III

⊞ Dilatação

- ⊞ **Operador de crescimento**
- ⊞ **Eliminação de buracos menores do que o EE e possibilidade de redução do número de componentes**



Original



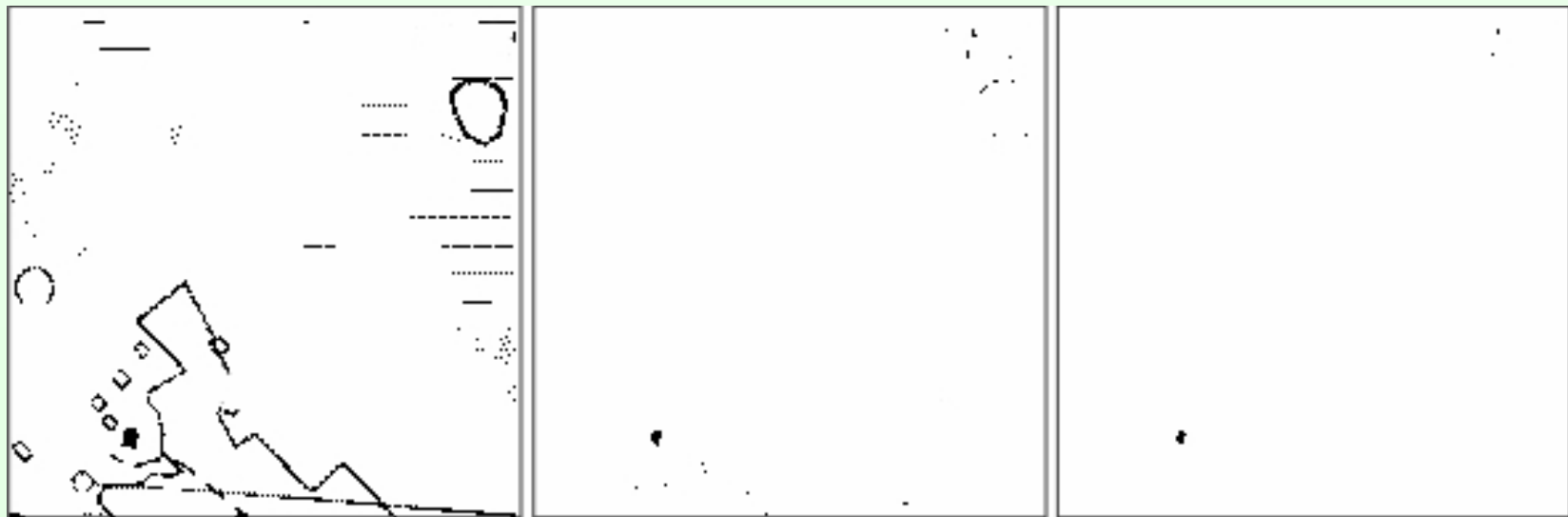
Filtros Morfológicos

IV

⊞ Erosão

⊞ **Operador de redução**

⊞ **Eliminação de buracos menores do que o EE e possibilidade de aumento do número de componentes**



Original



Filtros Morfológicos

IV

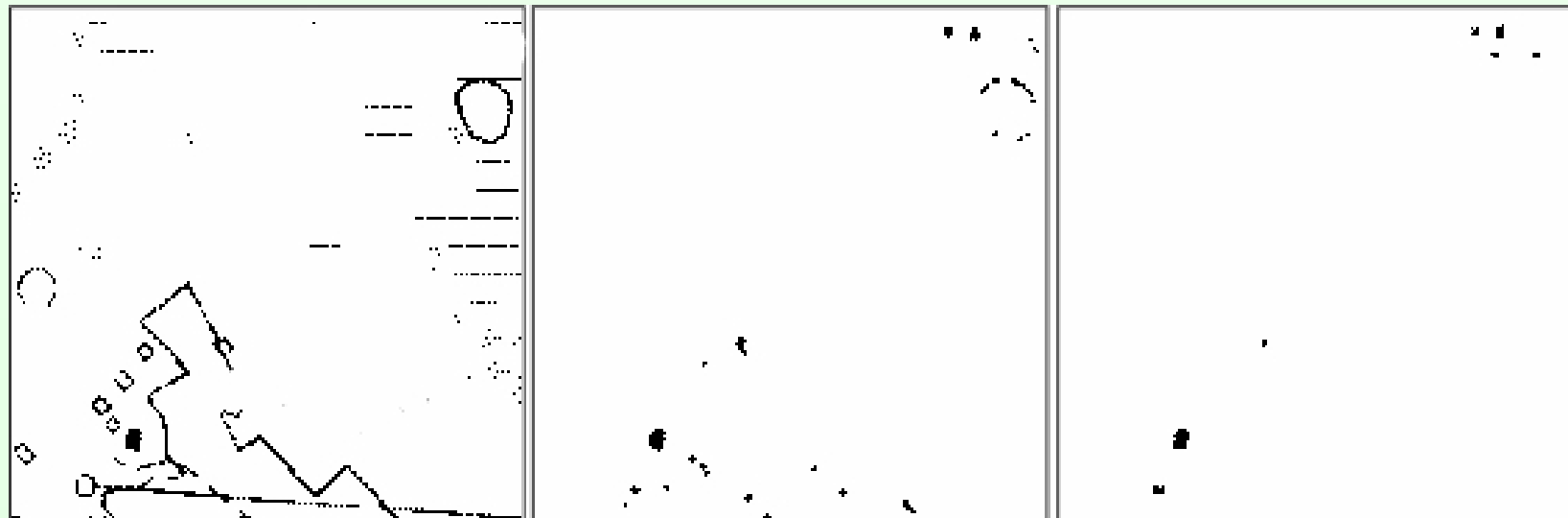
⊞ Filtro de *Abertura*

$$\alpha_A(X) = X \circ A := (X \ominus A) \oplus A$$

⊞ Aplicação seqüencial

✧ Erosão

✧ Dilatação



Original



Filtros Morfológicos

V

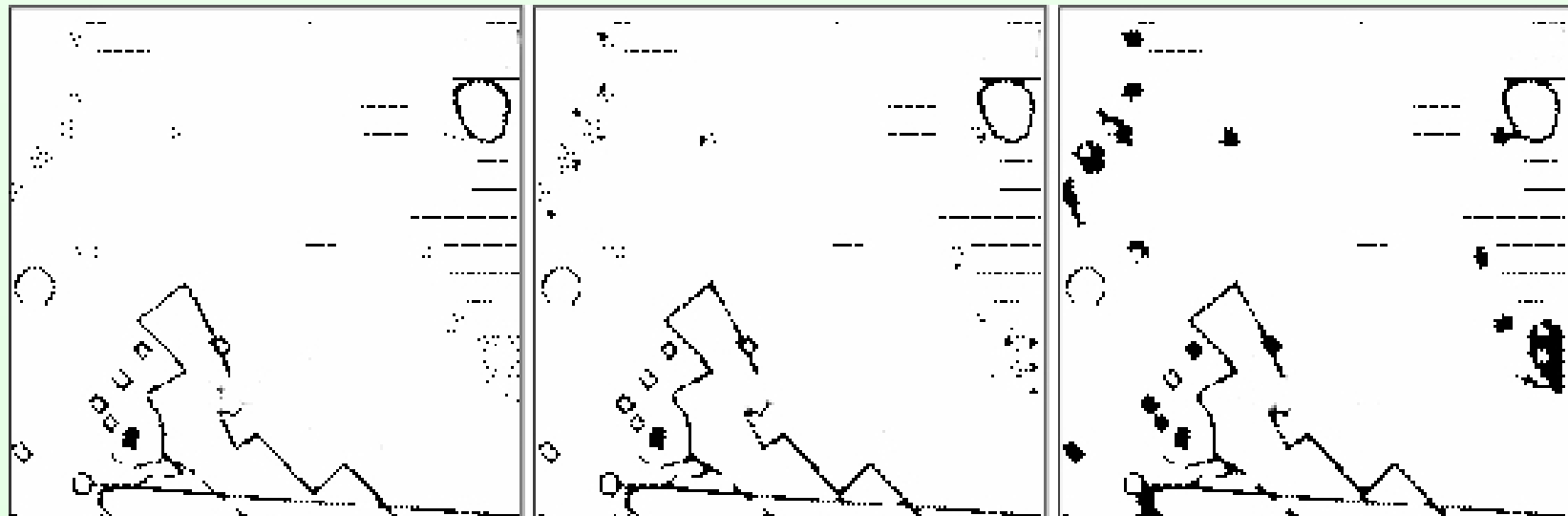
⊕ Filtro de *Fechamento*

$$\beta_A(X) = X \bullet A = (X \oplus A) \ominus A$$

⊕ Aplicação seqüencial

✧ Dilatação

✧ Erosão



Original



Filtro *Seqüencial*

⊕ **Abertura-Fechamento**

⊕ **Fechamento-Abertura**

⊕ Operador de *Rank I*

$$\Psi_{A,b}(X) = \left\{ h \in Z^d \mid b(X(a_1 + h), X(a_2 + h), \dots, X(a_n + h)) = 1 \right\}$$

onde:

⊕ **A** ➔ Elemento estruturante de **n**
células

⊕ $\Psi_{A,b}$ ➔ Função booleana de **n** variáveis

⊕ $X \subseteq Z^d$ ➔ Imagem binária

Filtros Morfológicos

VIII

⊕ Operador de *Rank* II

⊕ $r_k, k < n \Rightarrow$ Função booleana de n variáveis

✧ $r_k = 1$ se pelo menos k variáveis forem iguais a 1

✧ $r_k = 0$, caso contrário

$$\begin{array}{l} \text{✧ } r_1(x_1, \dots, x_n) = x_1 \vee \dots \vee x_n \\ \text{✧ } r_n(x_1, \dots, x_n) = x_1 \wedge \dots \wedge x_n \end{array} \Rightarrow \begin{array}{l} \rho_{A,1}(X) = X \oplus \tilde{A} \\ \rho_{A,n}(X) = X \ominus A \end{array}$$

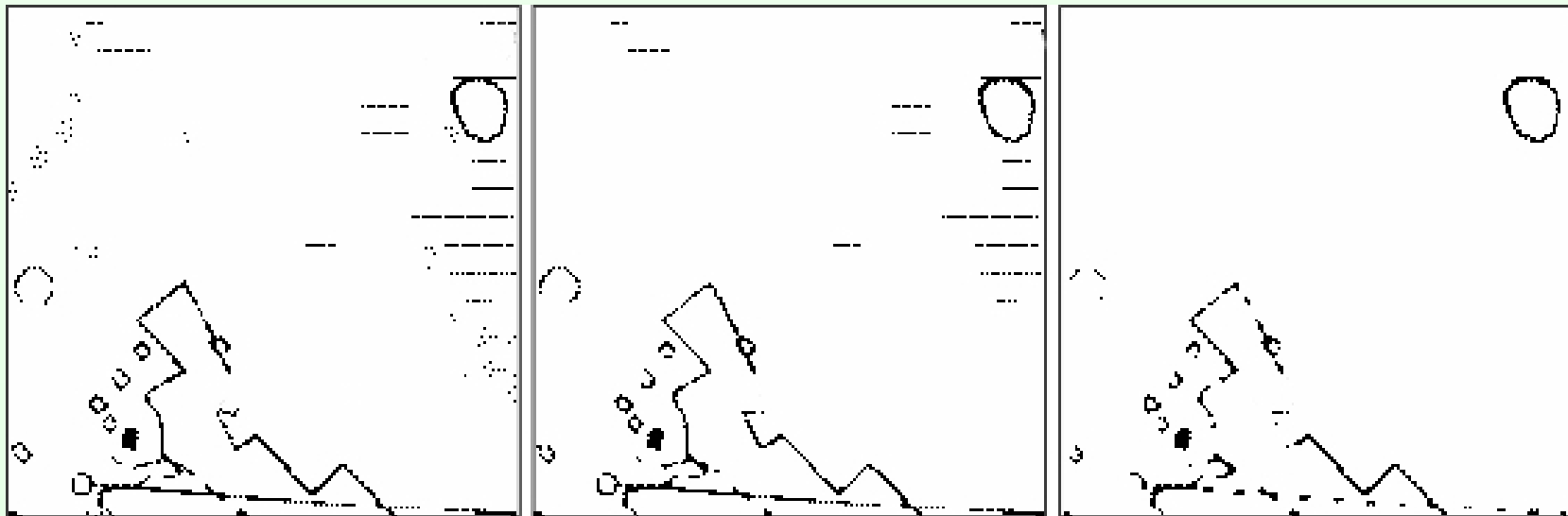
onde \tilde{A} é uma parte complementar de A

Filtros Morfológicos

IX

⊕ Filtro da *Mediana* para imagens binárias

$$\oplus P_{A,k}(X), n \text{ é ímpar e } k = (n+1)/2$$



Original



Filtragem no Domínio da Freqüência I

⊠ Propriedades Qualitativas

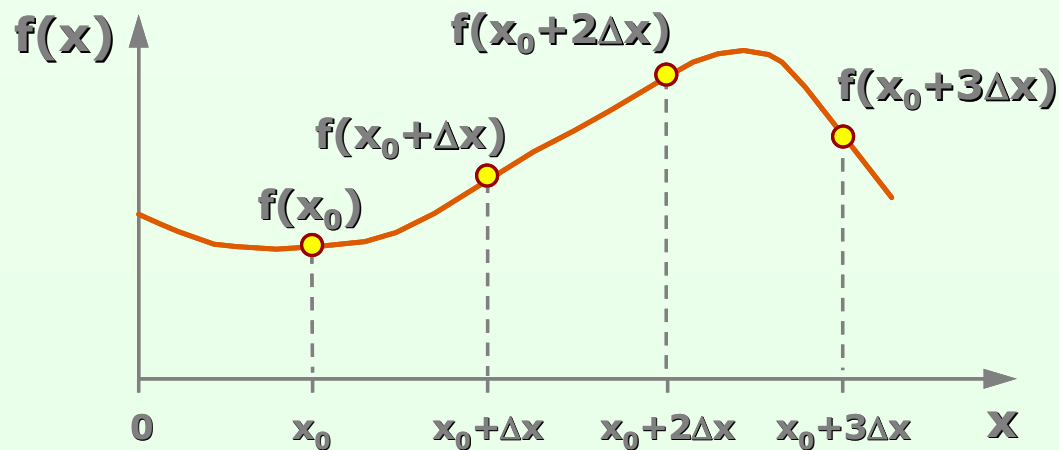
- ⊠ **Espectro de uma função** \Rightarrow **Quantidade relativa de altas e baixas freqüências**
 - ✧ **Aguçamento de bordas** \Rightarrow **Realce de freqüências altas**
 - ✧ **Suavização de regiões** \Rightarrow **Realce de freqüências baixas**
- ⊠ **Função *limitada em faixa*** \Rightarrow **Espectro sem freqüências acima de um limite máximo**
 - ✧ **Exemplos** \Rightarrow **Funções seno e cosseno**
 - ✧ **Contra-exemplos** \Rightarrow **Funções *box* e gaussiana**

Filtragem no Domínio da Freqüência II

- # **Imagens \Rightarrow Funções 2D discretas**
- # **Transformada de Fourier 2D \Rightarrow Uso do produto de senos e cossenos**
- # **Transformada de Fourier de uma imagem discreta \Rightarrow Possibilidade de armazenamento no mesmo espaço de armazenamento da imagem**
- # **Algoritmo Numérico \Rightarrow Computação de transformadas discretas a partir da *Transformada Rápida de Fourier (FFT)***

Transformada Discreta de Fourier III

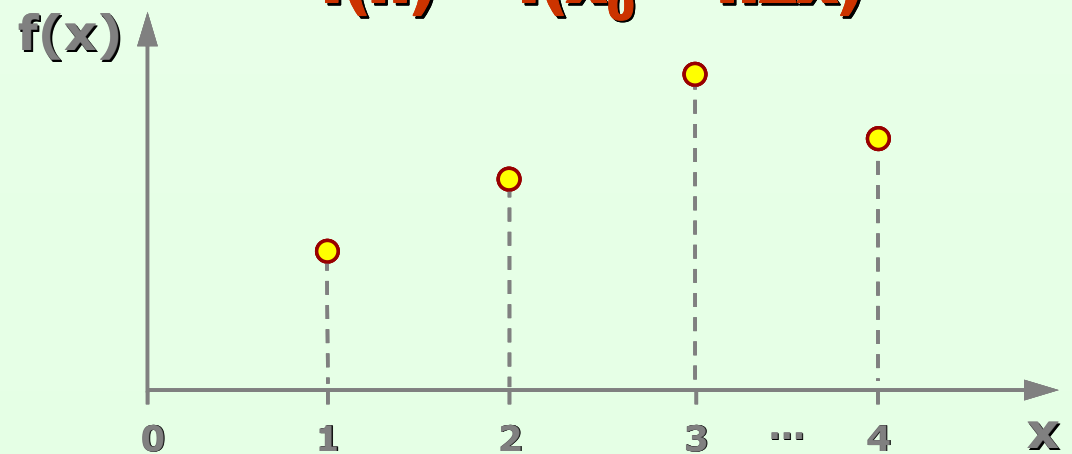
✦ Sinais Discretos



$$f(n) = f(x_0 + n\Delta x)$$

Função discreta f :

$$\{ f(0), f(1), f(2), \dots, f(N-1) \}$$



Transformada Discreta de Fourier IV

Transformada Discreta 2D

Transformada 2D

$$F(\omega, \nu) = \frac{1}{N} \frac{1}{M} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{M-1} f(x, y) e^{-2\pi i(\omega x/N + \nu y/M)}$$

$\omega = 0, 1, 2, \dots, N-1$
 $\nu = 0, 1, 2, \dots, M-1$

Transformada Inversa 2D

$$f(x, y) = \sum_{\omega=0}^{N-1} \sum_{\nu=0}^{M-1} F(\omega, \nu) e^{2\pi i(\omega x/N + \nu y/M)}$$

$x = 0, 1, 2, \dots, N-1$
 $y = 0, 1, 2, \dots, M-1$

Transformada Discreta de Fourier V

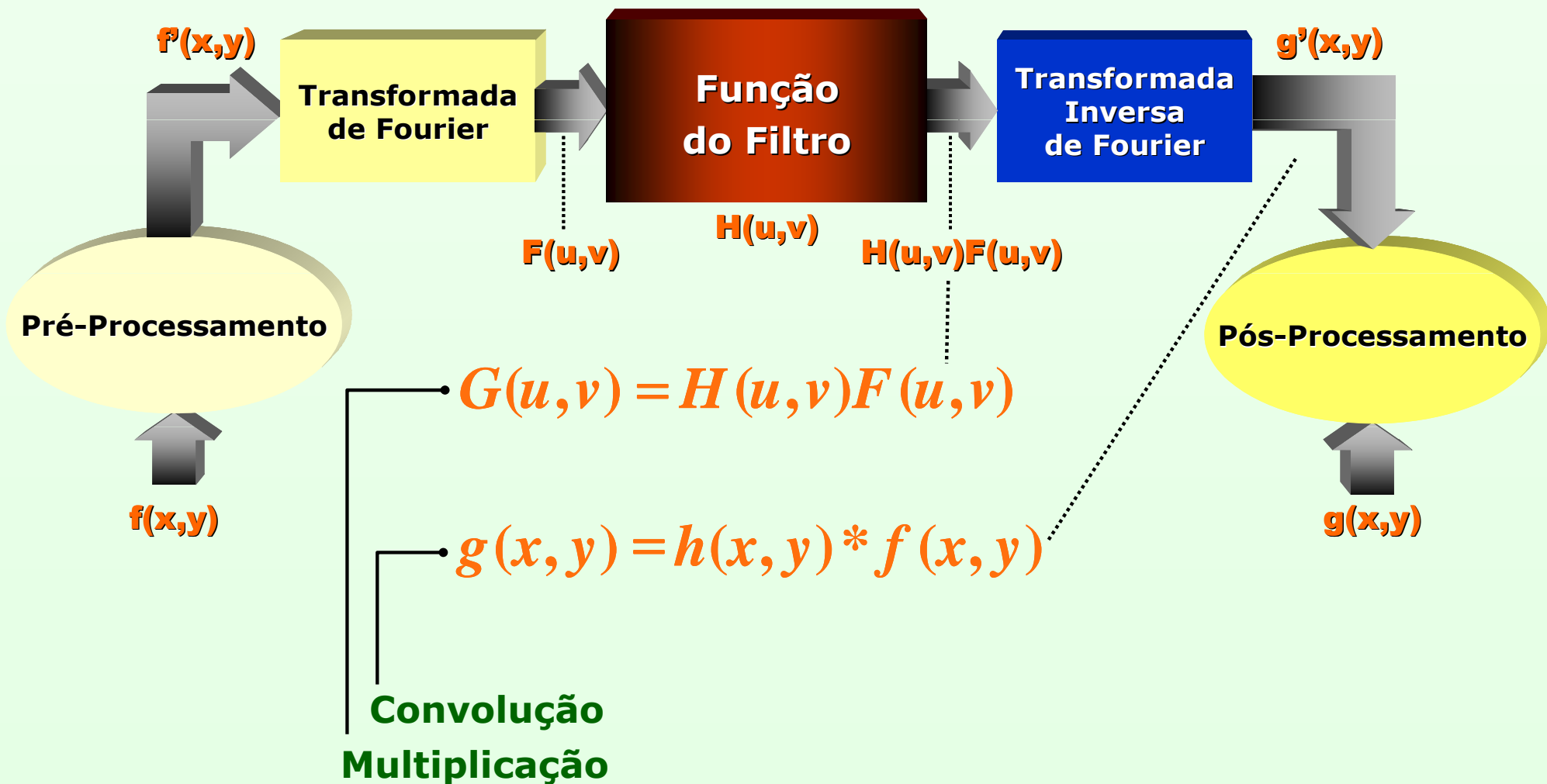
⊕ Transformada Discreta 2D – Nota Prática

- ⊕ Consideração de x_{ij} como uma matriz
- ⊕ Possibilidade de computação da DFT 2D
 - ✧ Computação da transformada 1D em todas as linhas da imagem (seguida da)
 - ✧ Computação da transformada 1D em todas as colunas da imagem

Resultado similar com a inversão do processo de computação da transformada 1D

Filtragem no Domínio da Freqüência VI

Etapas Básicas



Visão Geral I

- ⊕ **Segmentação consiste na subdivisão da imagem em partes ou objetos constituintes**
- ⊕ **Possibilita a identificação de diferenças entre dois ou mais objetos, assim como a discriminação das partes, tanto entre si quanto entre si e o background**

Visão Geral II

- ⊕ **Para imagens monocromáticas, os algoritmos geralmente fundamentam-se na descontinuidade e na similaridade dos níveis de cinza**
 - ✧ **Descontinuidade: particionamento da imagem em zonas caracterizadas por mudanças bruscas dos níveis de cinza. Usualmente recai na detecção de pontos isolados, de linhas e de bordas da imagem.**
 - ✧ **Similaridade: limiarização e no crescimento de regiões.**

⊞ Limiarização (*Thresholding*) I

- ⊞ Redução usual a **2** níveis de cinza
- ⊞ Seleção de um nível de cinza *limiar*
- ⊞ Remapeamento dos valores de brilho
 - ✧ Pixels com nível de cinza *superior* ao limiar \Rightarrow Nível de cinza *máximo* considerado (tipicamente **255**)
 - ✧ Pixels com nível de cinza *igual* de *inferior* ao limiar \Rightarrow Nível de cinza *mínimo* considerado (**0**)

⊕ Limiarização (*Thresholding*) II

⊕ **Resultado** ⇒ **Imagem binária**

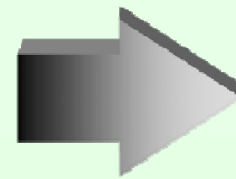
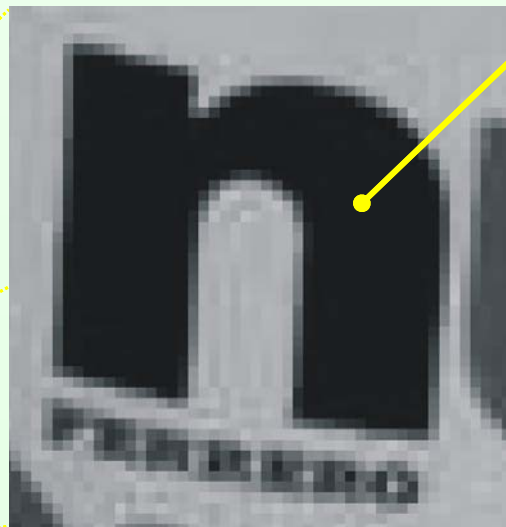
$$i_s(x,y) = \begin{cases} 0, & 0 \leq i_e(x,y) \leq N_{cL} \\ N_{cmax}, & N_{cL} < i_e(x,y) \leq N_{cmax} \end{cases}$$

⊕ **Aplicação** ⇒ **Extração de atributos de objetos da imagem (e.g. forma, área, perímetro)**

⊞ Limiarização (*Thresholding*) III

⊕ Exemplo ⇒ Imagem binária

Faixa de níveis de cinza do objeto de interesse: **0~22**



Binarização



Outros Tipos de Segmentação I

⊕ Segmentação Orientada a Regiões

- ✧ Fundamenta na similaridade
- ✧ Crescimento de regiões: agrupa pixels ou sub-regiões de uma imagem em regiões maiores
 - ✧ Agregação de pixels: partindo de sementes (cj. de pontos similares), as regiões crescem com a agregação de cada pixel à semente à qual estes apresentem propriedades similares (e.g. nível de cinza, textura ou cor)

Outros Tipos de Segmentação II

⊕ Segmentação Baseada em Bordas

- ✧ Bordas normalmente são um bom indício dos contornos dos objetos
- ✧ Pontos de borda: posições de pixels com variações abruptas de níveis de cinza, indicando possíveis transições entre objetos diferentes
- ✧ Técnicas mais simples: operador de gradiente (e.g. Sobel, Roberts, Laplaciano), seguido de limiarização.

Extração de Características e Reconhecimento I

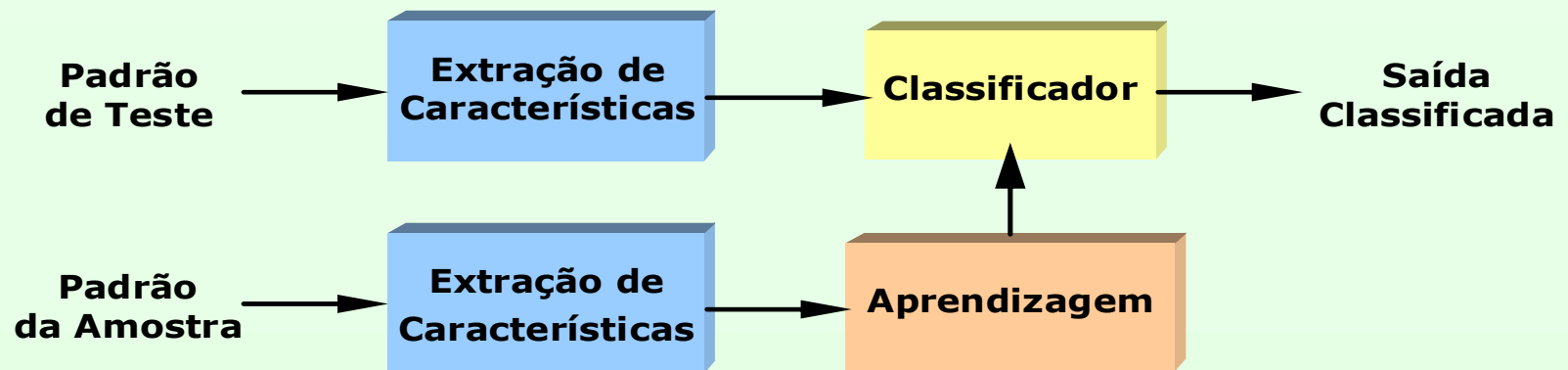
✦ Visão geral

- ✦ O objetivo é identificar objetos na cena a partir de um conjunto de medições
- ✦ Cada objeto é um padrão e os valores medidos são as características desse padrão
- ✦ Um conjunto de objetos com características semelhantes é considerado como pertencente à mesma classe de padrões
- ✦ Há diversos tipos de extração de características, cada qual obtida a partir de uma técnica específica.

Extração de Características e Reconhecimento II

✦ Visão geral

- ✦ **Exemplos de características: bordas, área, perímetro, invariantes de momentos, descritores de fourier e muitos outros**
- ✦ **Existe uma grande variedade de técnicas de classificação, incluindo técnicas estatísticas e redes neurais**



Exemplos de Aplicações

⊠ Exemplos de Aplicações

- ⊕ **Segmentação de Imagens**
- ⊕ **Reconhecimento de Manuscritos**
- ⊕ **Recuperação de Imagens por Conteúdo**
- ⊕ **Detecção de Regiões usando Atenção Visual**
- ⊕ **Outras Aplicações**

Exemplos de Aplicações

✦ Segmentação de Imagens I

- ✦ **Principal objetivo: separação entre objetos de interesse e o background**
- ✦ **Segmentação por limiarização: normalmente depende de características intrínsecas da imagem**
- ✦ **Normalmente, não se leva em conta a percepção humana do processo de segmentação**

Exemplos de Aplicações

✦ Segmentação de Imagens II

- ✦ **Numa abordagem alternativa Lopes e Consularo propuseram um método que aprende a decisão humana na limiarização**

LOPES, L. M., CONSULARO, L. A. A RBFN Perceptive Model for Image Thresholding, *Proc. of SIBGRAPI*, pp 225-232, 2005.

Exemplos de Aplicações II

- ⊠ **Reconhecimento de Manuscritos I – visão geral**
 - ⊠ **Manuscritos apresentam enorme variação diferentemente da escrita mecânica**
 - ⊠ **Aplicações típicas envolvem o reconhecimento de assinaturas e de textos manuscritos na forma de caracteres isolados ou palavras inteiras**

Exemplos de Aplicações IV

✦ Reconhecimento de Manuscritos II – Exemplo de Artigo SIBGRAPI

- ✦ Oliveira e outros compararam duas abordagens para o reconhecimento de palavras isoladas dos meses do ano: Redes Neurais (RN) e Modelos de Markov Escondidos (MME)

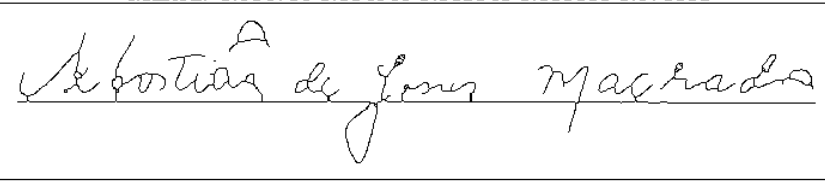
OLIVEIRA JR., J. J., CARVALHO, J. M., FREITAS, C. O. A., SABOURIN, R. Evaluating NN and HMM Classifiers for Handwritten Word Recognition, Proc. of SIBGRAPI, pp 210-217, 2002.

Exemplos de Aplicações V

Reconhecimento de Manuscritos III - assinaturas

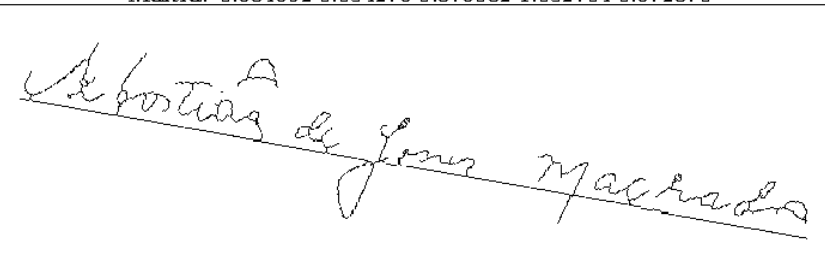
(a)

Padrão: 0.002431 0.316732 -0.002315 0.017070 -0.000041 0.222111
 Hu: 2.769969 5.509234 4.925325 4.799921 9.662474 7.542532
 Maitra: 0.984765 0.034949 0.882140 1.031811 0.973012

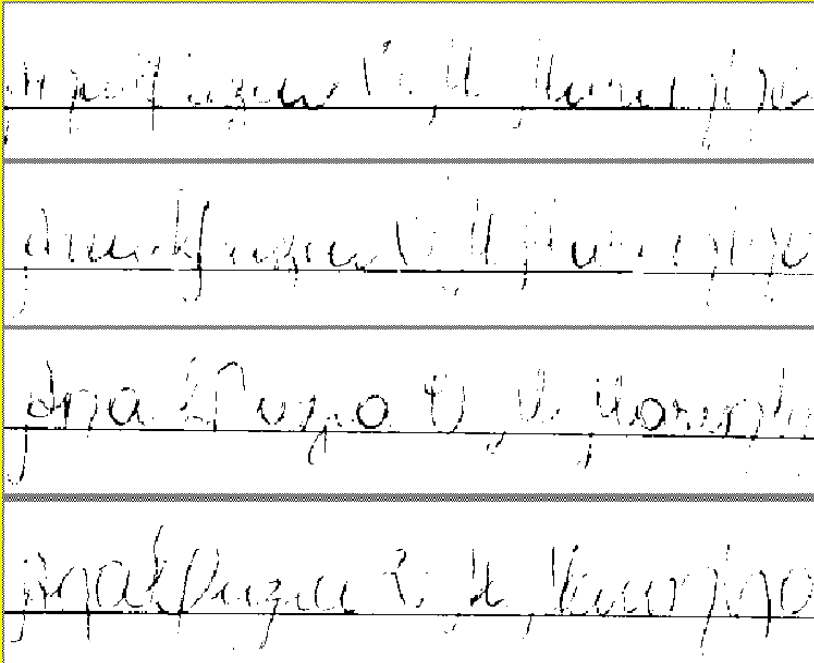


(b)

Padrão: 0.002486 0.327947 -0.002486 0.018016 -0.000036 0.231424
 Hu: 2.804672 5.579020 5.010464 4.881587 9.827534 7.658760
 Maitra: 0.984952 0.034279 0.879082 1.032704 0.972876



Momentos



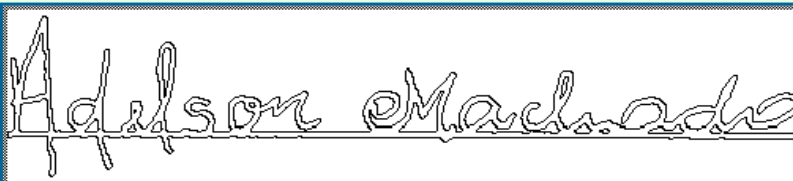
Verdadeira

Verdadeira

Falsa

Falsa

Regiões de pressão



N I P
 0.235444 0.524745 0.239811

Inclinações

Exemplos de Aplicações V

- ⊠ **Recuperação de Imagens por Conteúdo – visão geral I**
 - ⊠ **Relação com Bancos de Dados**
 - ⊠ **Uma consulta tradicional a um banco de dados normalmente envolve chaves textuais ou numéricas como parte de expressões relacionais e lógicas**

Exemplos de Aplicações V

⊕ **Recuperação de Imagens por Conteúdo – visão geral II**

⊕ **Existem duas grandes dificuldades com consultas textuais**

✧ **Vasta quantidade de trabalho requerido na anotação manual das imagens**

✧ **Rico conteúdo das imagens e subjetividade humana de percepção**

⊕ **O próximo passo lógico é justamente incluir campos e operações (e.g. classificação, segmentação, etc.) sobre imagens na consulta**

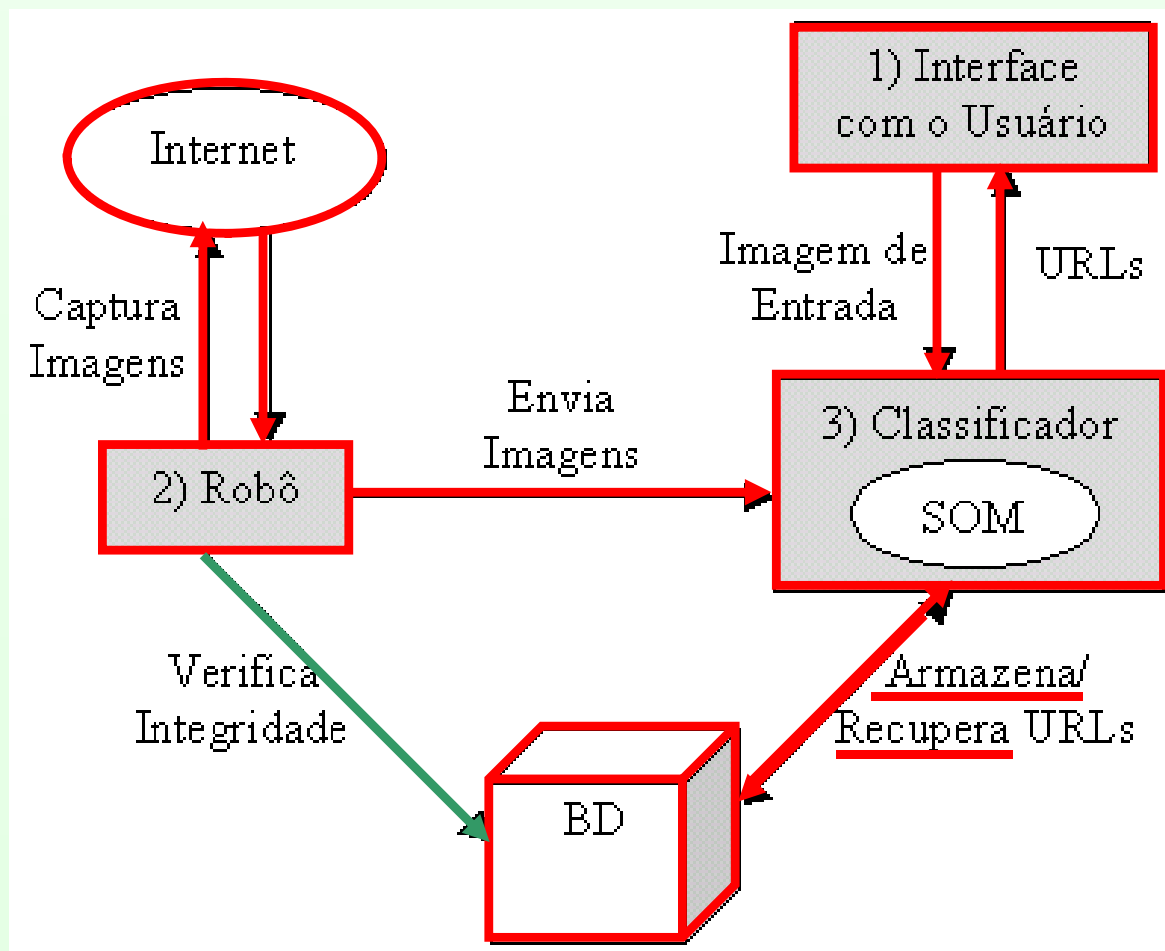
Exemplos de Aplicações V

- ✦ **Recuperação de Imagens por Conteúdo – exemplo de artigo SIBGRAPI**
 - ✦ **Um sistema para a classificação de imagens coletadas da Web em duas classes semânticas, gráficos e fotografias, foi apresentado por Oliveira e outros, 2002**
 - ✦ **O sistema utilizou um método de classificação baseado em árvores de decisão (ID3, um algoritmo de indução de árvores de decisão a partir de exemplos, popular na área de IA)**

OLIVEIRA, C. J. S., ARAÚJO, A. A., SEVERIANO JR, C. A., GOMES, D. R. “Classifying Images Collected on the World Wide Web”, *Proc. of SIBGRAPI*, pp 327-334, 2002.

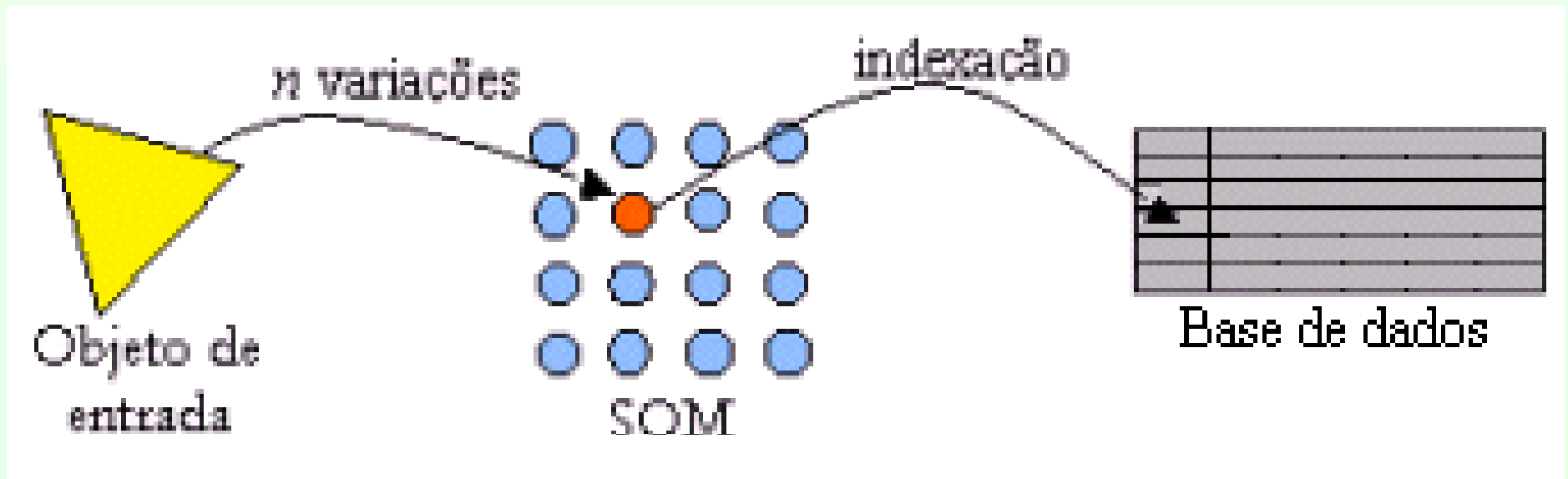
Exemplos de Aplicações VIII

✦ Recuperação de Imagens por Conteúdo – classificando imagens da Internet I



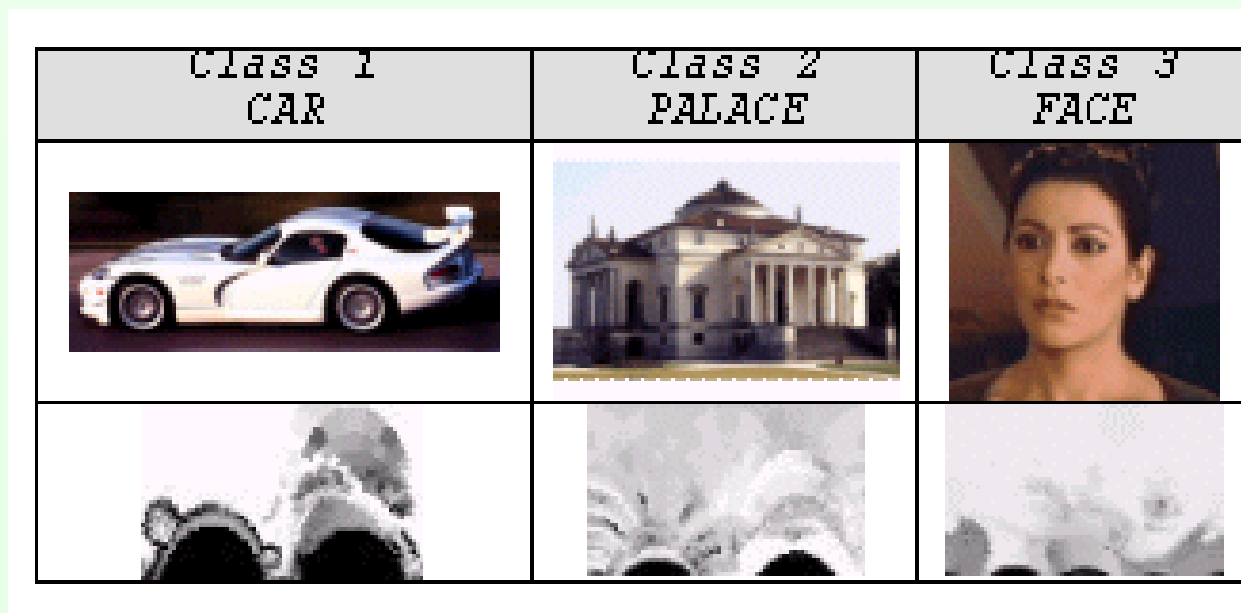
Exemplos de Aplicações I

✦ Recuperação de Imagens por Conteúdo – classificando imagens da Internet II



Exemplos de Aplicações >

- ✦ **Recuperação de Imagens por Conteúdo – classificando imagens da Internet III**
 - ✦ **Treinamento**



Exemplos de Aplicações X

✦ Recuperação de Imagens por Conteúdo – classificando imagens da Internet

✦ Teste



Exemplos de Aplicações X

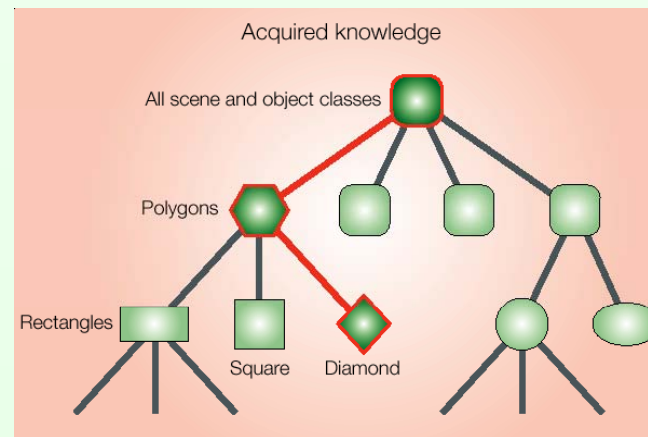
⊠ **Atenção Visual**

- ⊠ **Capacidade de detectar rapidamente partes interessantes no estímulo visual de entrada;**
- ⊠ **Pode ser vista como um método para reduzir a quantidade de informação visual de entrada para um tamanho manejável;**
- ⊠ **Tarefas com processamento complexo podem ser tratadas por recursos computacionais limitados;**

Exemplos de Aplicações XIII

⊠ Atenção Visual em Máquinas:

⊠ *Top-down*



⊠ *Botton-up*



⊠ **Atenção Visual em Máquinas:**

⊠ **Computação de características primitivas:**

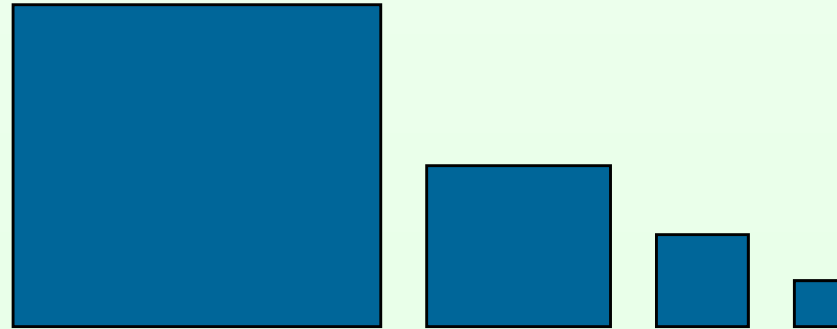
- ✦ **É o primeiro estágio de processamento em qualquer modelo de atenção bottom-up;**
- ✦ **Extraí propriedades elementares da imagem, tais como: brilho, cor, bordas, pontos, etc.**
- ✦ **Essas grandezas são usadas para segmentar a imagem;**
- ✦ **Produz mapas de características que, combinados, dão origem a um Mapa de Saliência.**

Exemplos de Aplicações X

⊕ **Atenção Visual em Máquinas:**

✧ **Representação Piramidal:**

- ✧ **Utilizada para representar características primitivas;**
- ✧ **Pirâmide →**



- ✧ **Pirâmide Gaussiana → Função Gaussiana usada para gerar múltiplo níveis;**
- ✧ **Suprimir detalhes indesejados, eliminar ruídos, realçar características grosseiras, detectar características somente visíveis numa dada escala etc.**

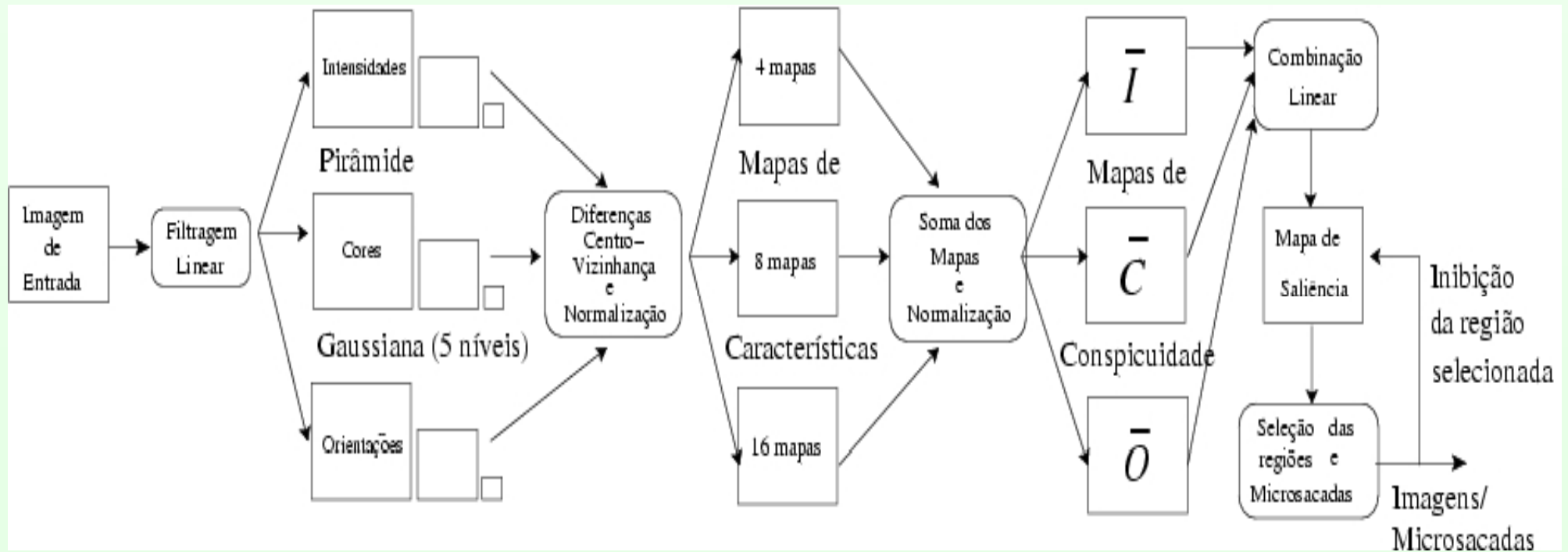
⊠ **Atenção Visual em Máquinas:**

⊠ **Mapa de Saliência:**

- ✧ **Mapa escalar bi-dimensional que representa topograficamente a saliência visual;**
- ✧ **Codifica um conjunto de medidas de saliência que não é amarrado a nenhuma dimensão de característica particular;**
- ✧ **Acredita-se que, nos primatas, tal mapa esteja localizado no córtex visual.**

Exemplos de Aplicações XVII

✦ Módulo de Detecção



Exemplos de Aplicações XVIII

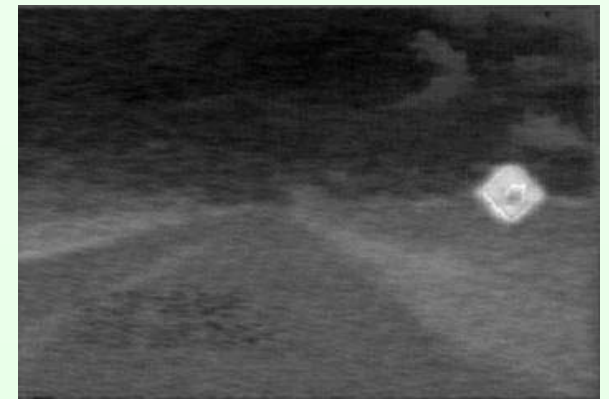
⊞ Filtragem Linear – Ex.



Imagem de Entrada



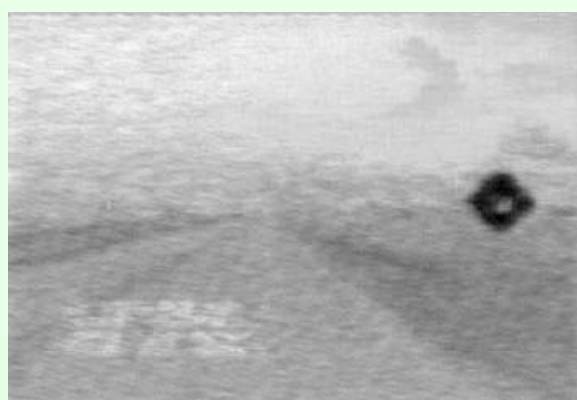
Imagem I



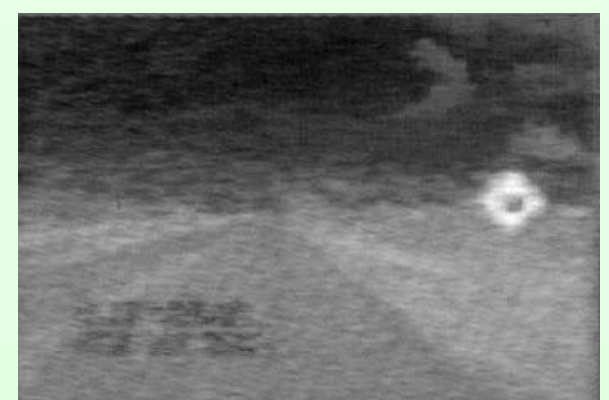
Canal R



**Canal G
Tutorial 1**



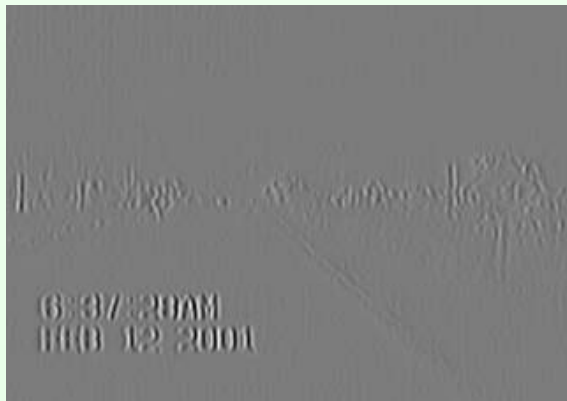
Canal B



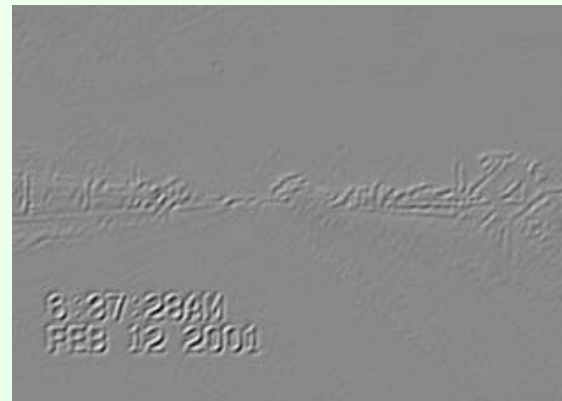
Canal Y

Exemplos de Aplicações XIX

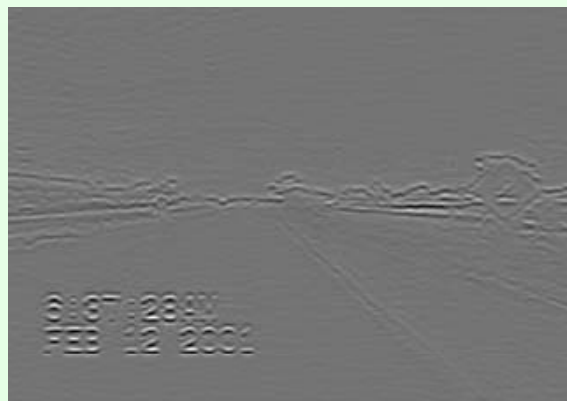
⊞ Filtragem Linear – Ex.



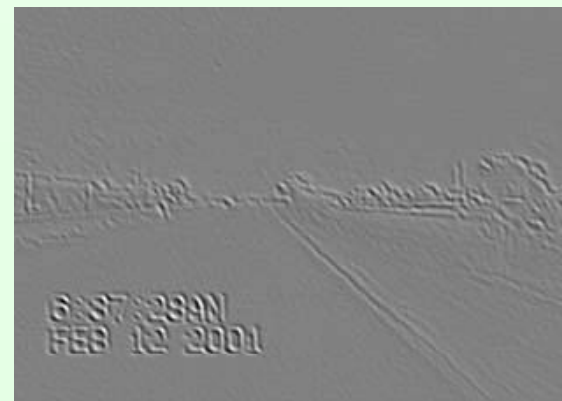
Orientação 0°



Orientação 45°



Orientação 90°
Tutorial 1



Orientação 135°

Exemplos de Aplicações X

⊠ Representação Piramidal – Ex.



0

Pirâmide Gaussiana I

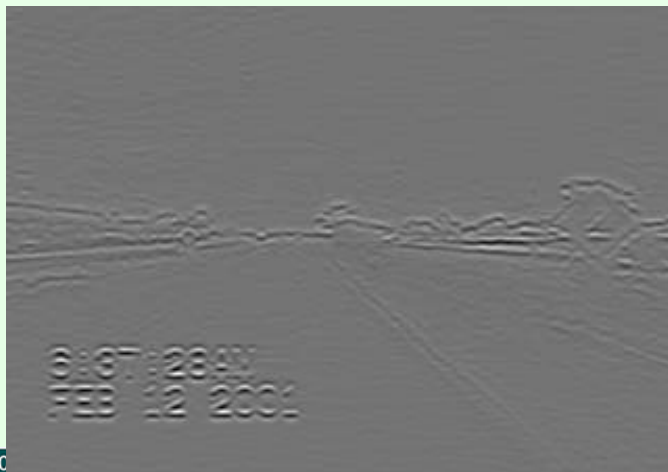


1

2

3

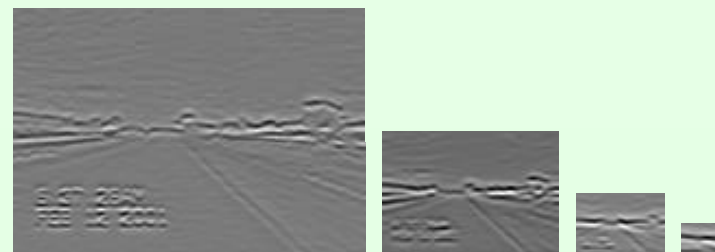
4



Tutorial 1

0

Pirâmide Direcional ($\theta = 90^\circ$)



1

2

3

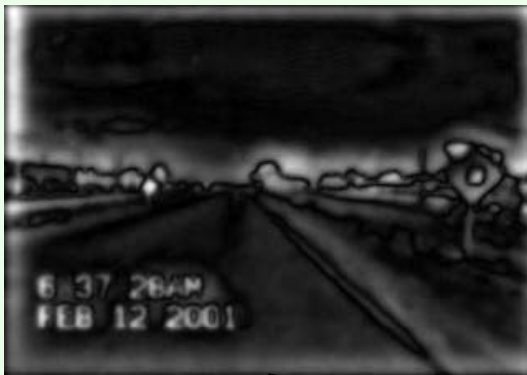
4

Exemplos de Aplicações XX

⊠ O Mapa de Saliência

$$MS = 1/3(N(MC_I) + N(MC_C) + N(MC_O))$$

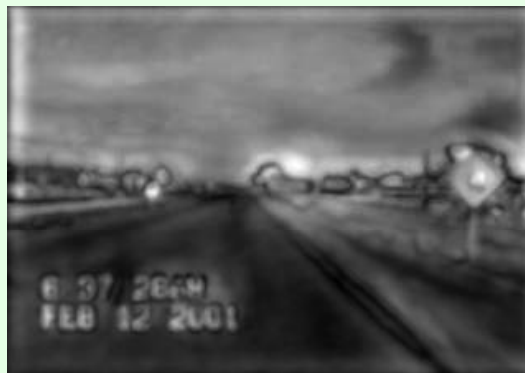
MC_I



MC_C



MC_O



Mapa de Saliência

Exemplos de Aplicações XXI

⊞ Seleção das Regiões Salientes



- # **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento**
 - ⊕ **Estudos de uso da terra e recursos naturais**
 - ⊕ **Detecção de incêndios florestais**
 - ⊕ **Acompanhamento do deslocamento de icebergues**
 - ⊕ **Previsão do tempo**

Outras Aplicações II

✦ Automação industrial

- ✦ Visão robótica

- ✦ Sistemas de inspeção & controle de qualidade

✦ Indústria de Construção

- ✦ Detecção de falhas em estruturas metálicas

✦ Telecomunicações

- ✦ Codificação, transmissão e otimização de sinais digitais

✦ **Eletrônica de Consumo**

- ✦ **Reconhecimento óptico de caracteres**

✦ **Geologia**

- ✦ **Exploração petrolífera e mineral**
- ✦ **Imageamento sísmico**

✦ **Oceanografia**

- ✦ **Análise do leito oceânico**
- ✦ **Estudos de fenômenos oceanográficos**

Imageamento Biomédico I

Propósito

- ✧ Geração de imagens do interior do corpo humano vivo, visando à diagnose médica

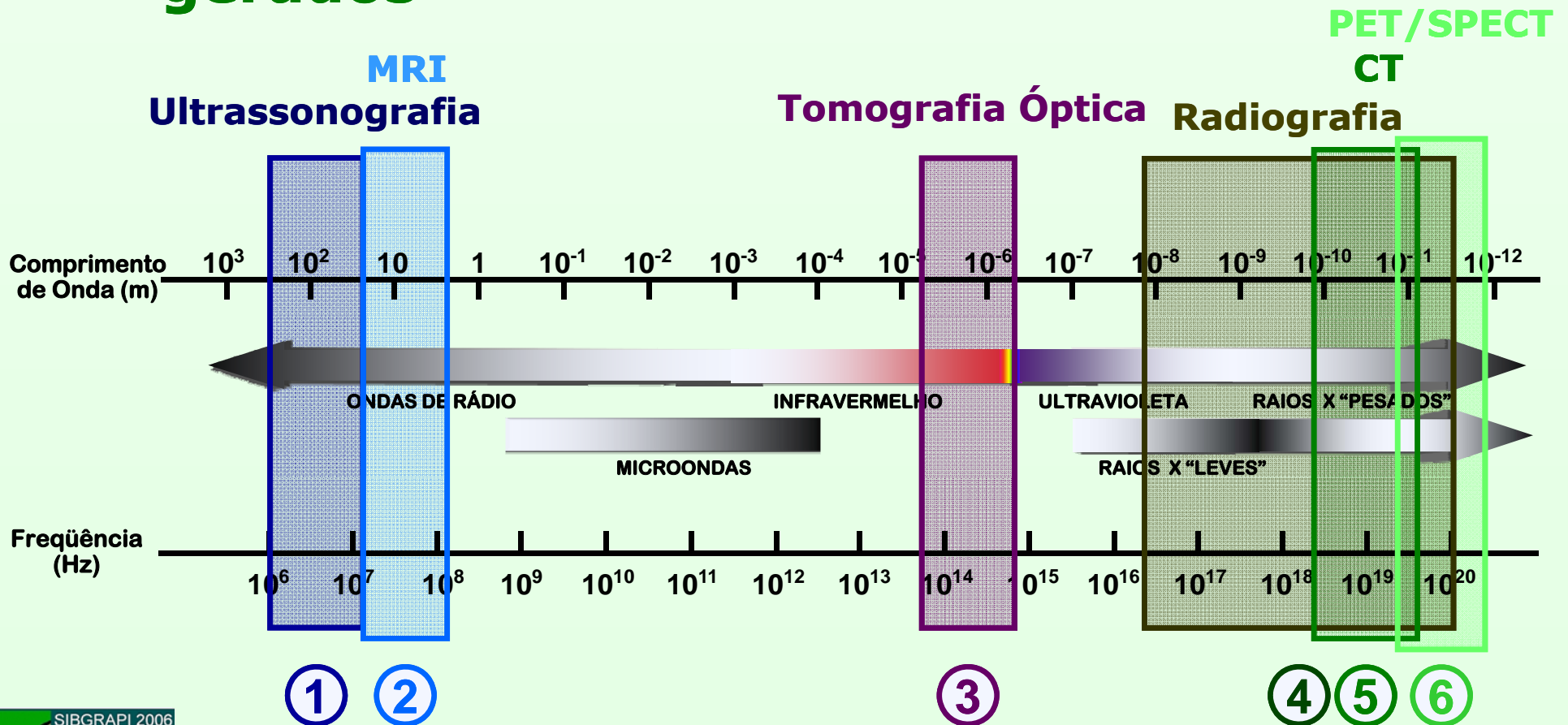
Área multidisciplinar

- ✧ Física (radiação, interação matéria-energia)
- ✧ Matemática (álgebra linear, cálculo, estatística)
- ✧ Biologia/Fisiologia (corpo humano)
- ✧ Engenharias (*hardware*)
- ✧ Computação (PDI, reconstrução de imagens)

Outras Aplicações V

Imageamento Biomédico II

Faixas espectrais de interesse e produtos gerados



Outras Aplicações VI

Imageamento Biomédico Ultrassonografia¹ (Exemplos)

III -



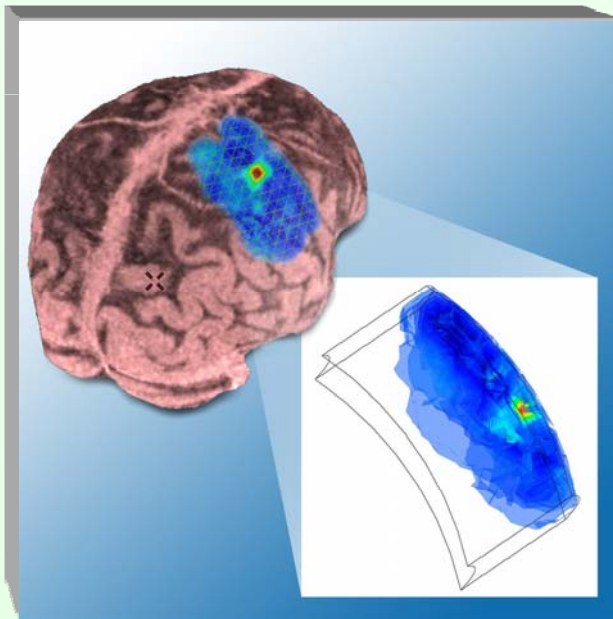
Feto com 12 semanas

Ultrassonografia 3D
Feto com 40 semanas

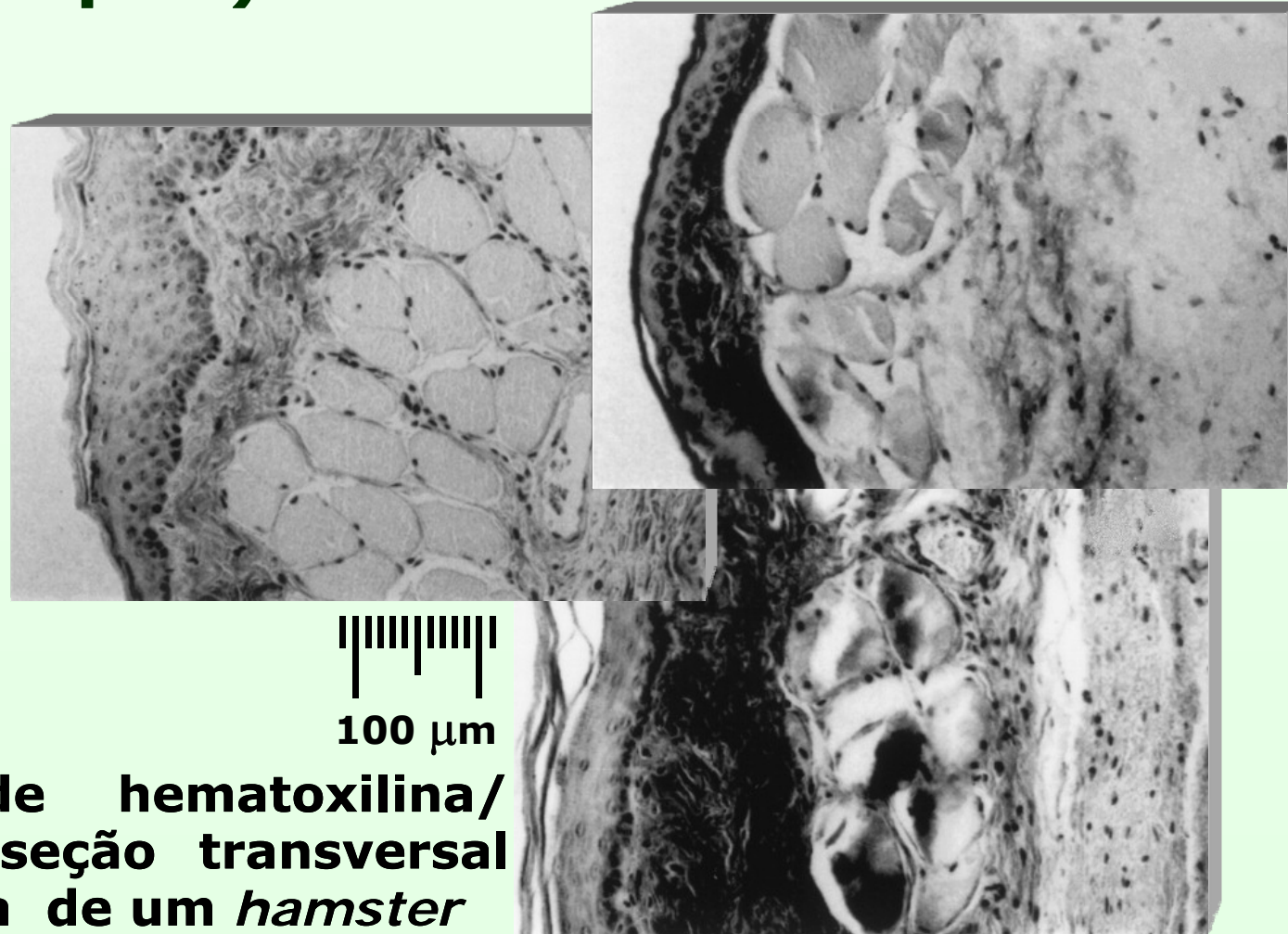


Outras Aplicações VII

Imageamento Biomédico IV – Tomografia Óptica[®] (Exemplos)



Cérebro

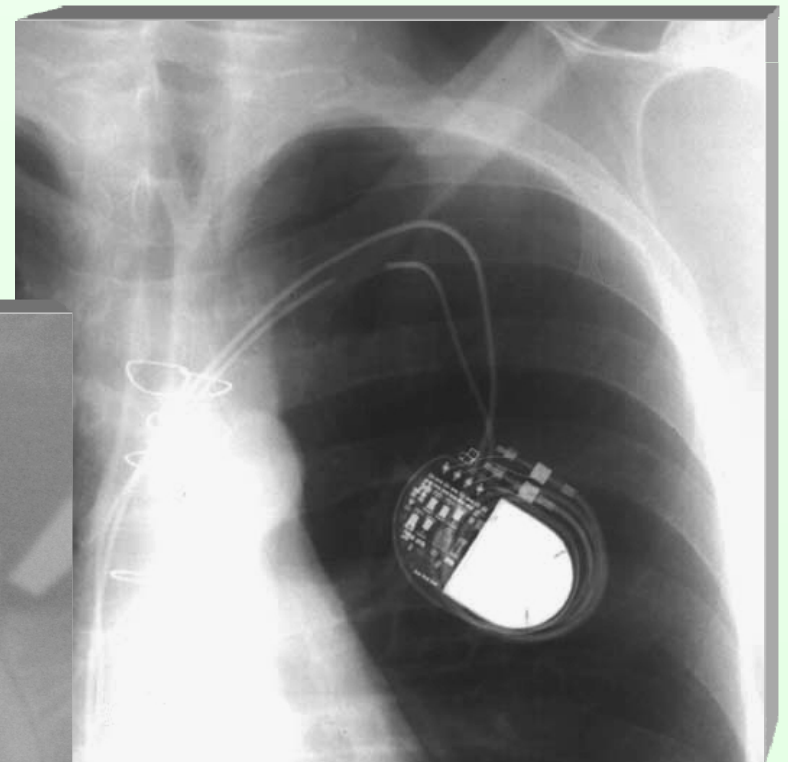


100 μm

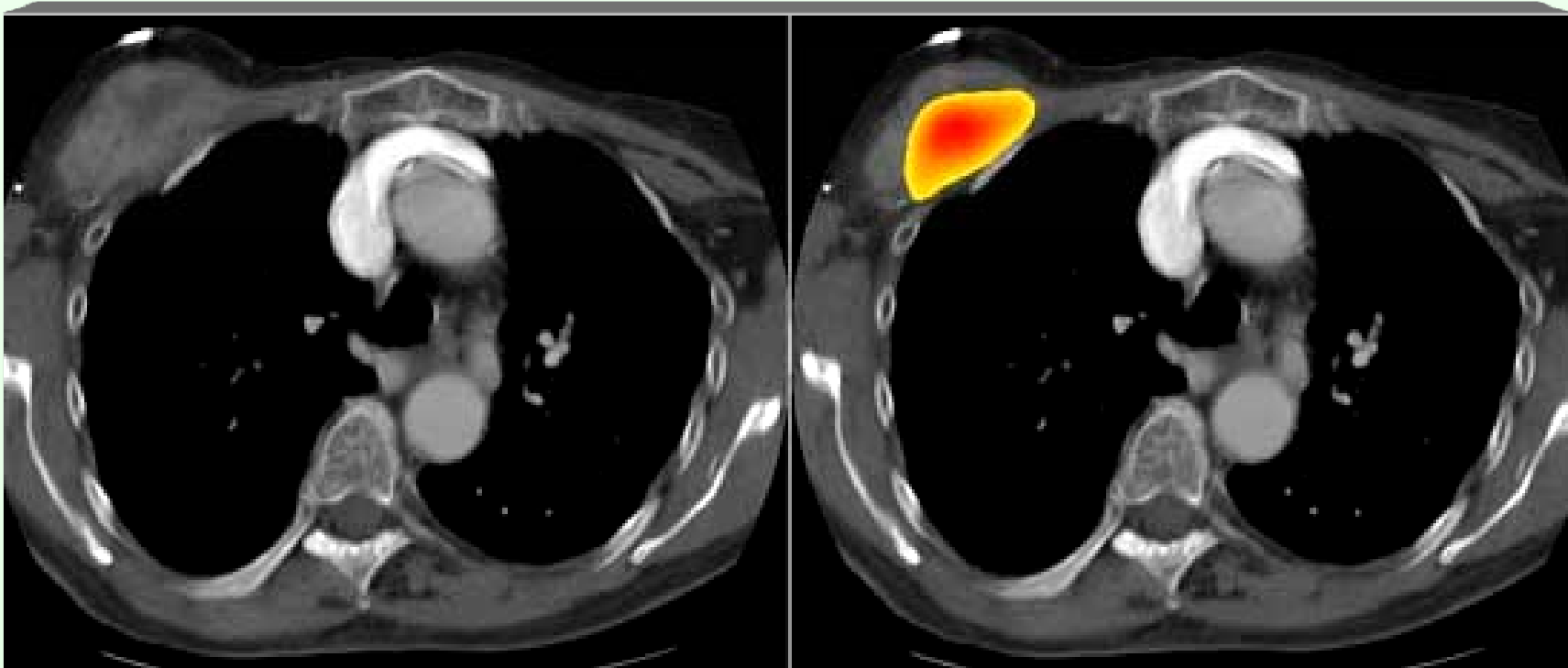
Manchas de hematoxilina/
eosina na seção transversal
da bochecha de um *hamster*

Outras Aplicações VIII

Imageamento Biomédico V - Raios X^4 (Exemplos)



Imageamento Biomédico VII – Imageamento Nuclear (PET/SPECT)⁶



Câncer de Mama (PET)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE – UFPG
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA – CEEI
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS E COMPUTAÇÃO - DSC
Av Aprígio Veloso, S/N – Bodocongó – CEP: 58109-190 – Campina Grande – PB
www.dsc.ufcg.edu.br/ – Fones: (0xx83) 3310 1122/Ramais 2211/2214



Tutorial 1

***José Eustáquio Rangel de Queiroz &
Herman Martins Gomes***

DSC/CEEI/UFPG

<http://www.ufcg.edu.br/~rangel>

<http://www.dsc.ufcg.edu.br/~hmg>

**E-mails: {[rangel](mailto:rangel@dsc.ufcg.edu.br), [hmg](mailto:hmg@dsc.ufcg.edu.br)}@dsc.ufcg.edu.br
rangeldequeiroz@gmail.com**

Fone: 83 3310 1122 Ramais 2214/2211