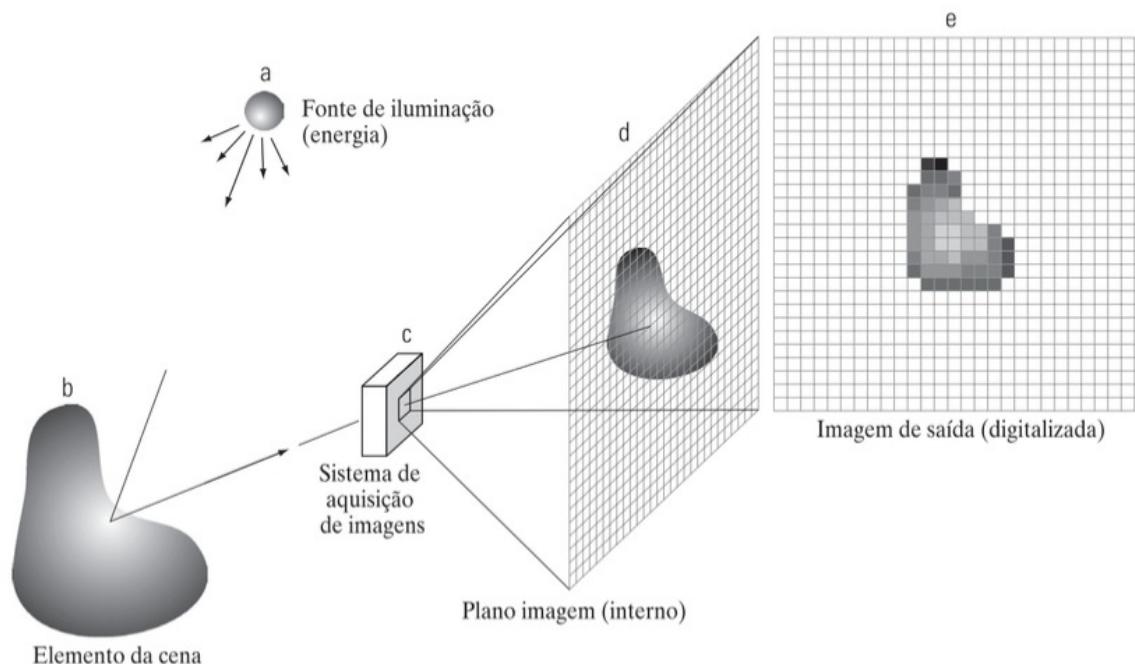


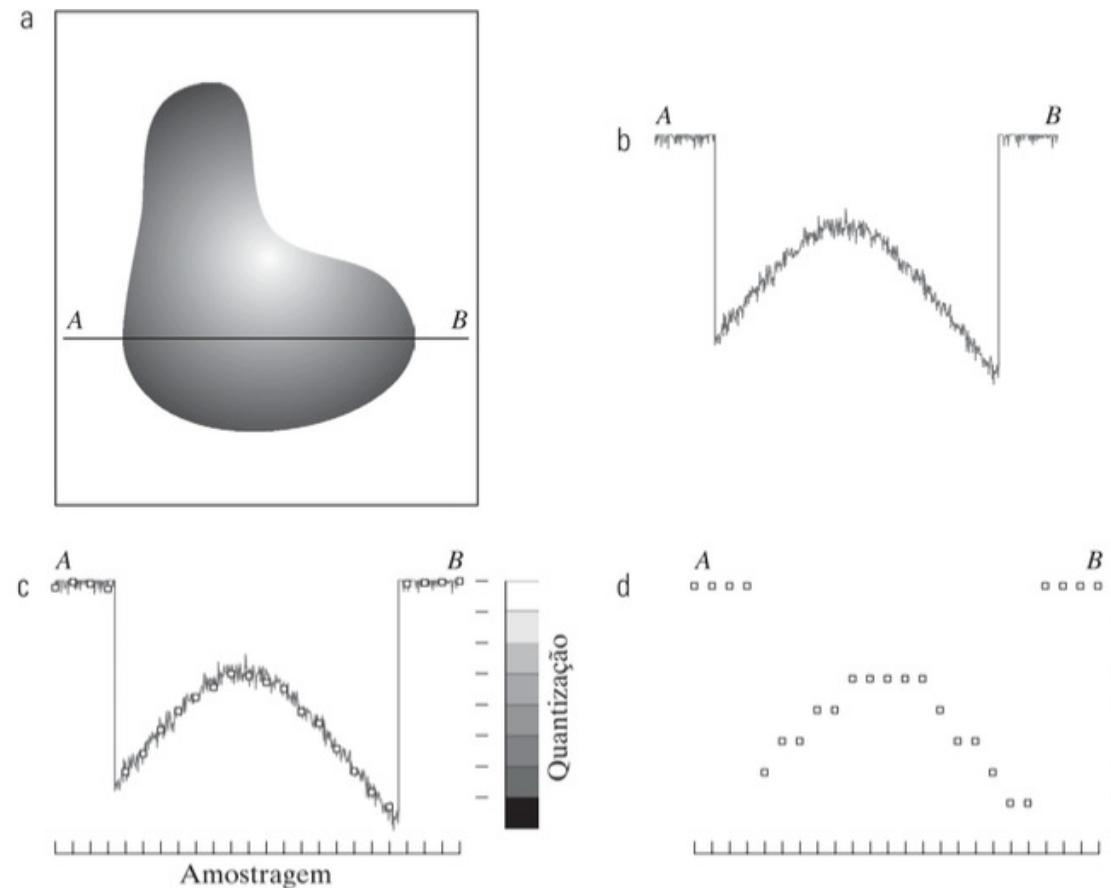
## 2. FUNDAMENTOS DA IMAGEM DIGITAL

### 2.1. AQUISIÇÃO DE IMAGENS UTILIZANDO SENSORES MATERIAIS

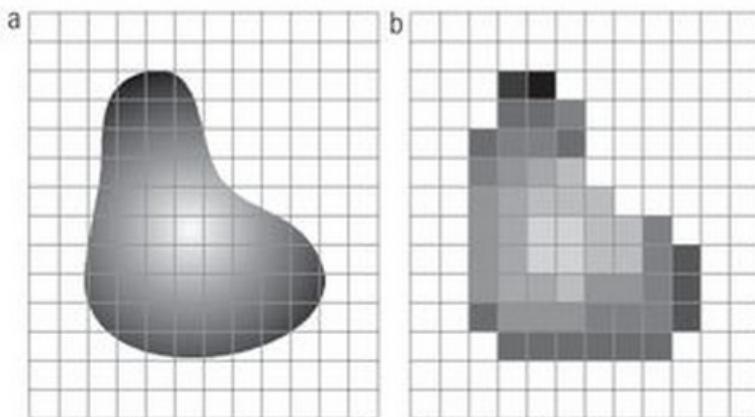


**Figura 2.15** Exemplo do processo de aquisição de uma imagem digital (a) Fonte de energia ("iluminação"). (b) Um elemento de uma cena. (c) Sistema de aquisição de imagens. (d) Projeção da cena no plano imagem. (e) Imagem digitalizada.

## 2.2. AMOSTRAGEM E QUANTIZAÇÃO

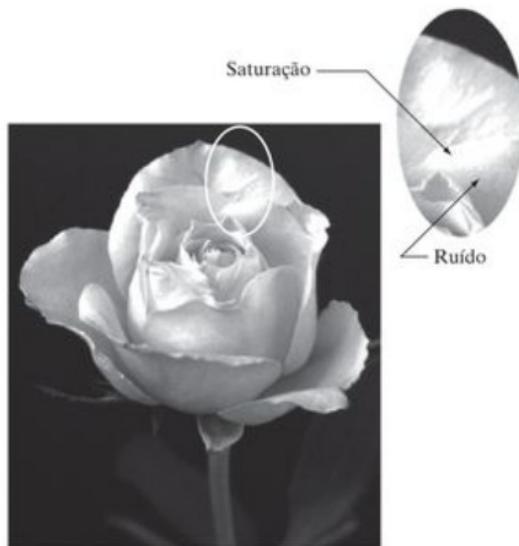


**Figura 2.16** Produzindo uma imagem digital. (a) Imagem contínua. (b) Linha de varredura de A a B na imagem contínua utilizada para ilustrar os conceitos de amostragem e quantização. (c) Amostragem e quantização. (d) Linha de varredura digital.



**Figura 2.17** (a) Imagem contínua projetada em uma matriz de sensores. (b) Resultado da amostragem e quantização da imagem.

- Representação matricial (amostragem)
- Níveis de cinza geralmente representados com 8 bits --- 0 a 255 (quantização)
- Nos limites das faixa dinâmica  $\Rightarrow$  Ruído e Saturação

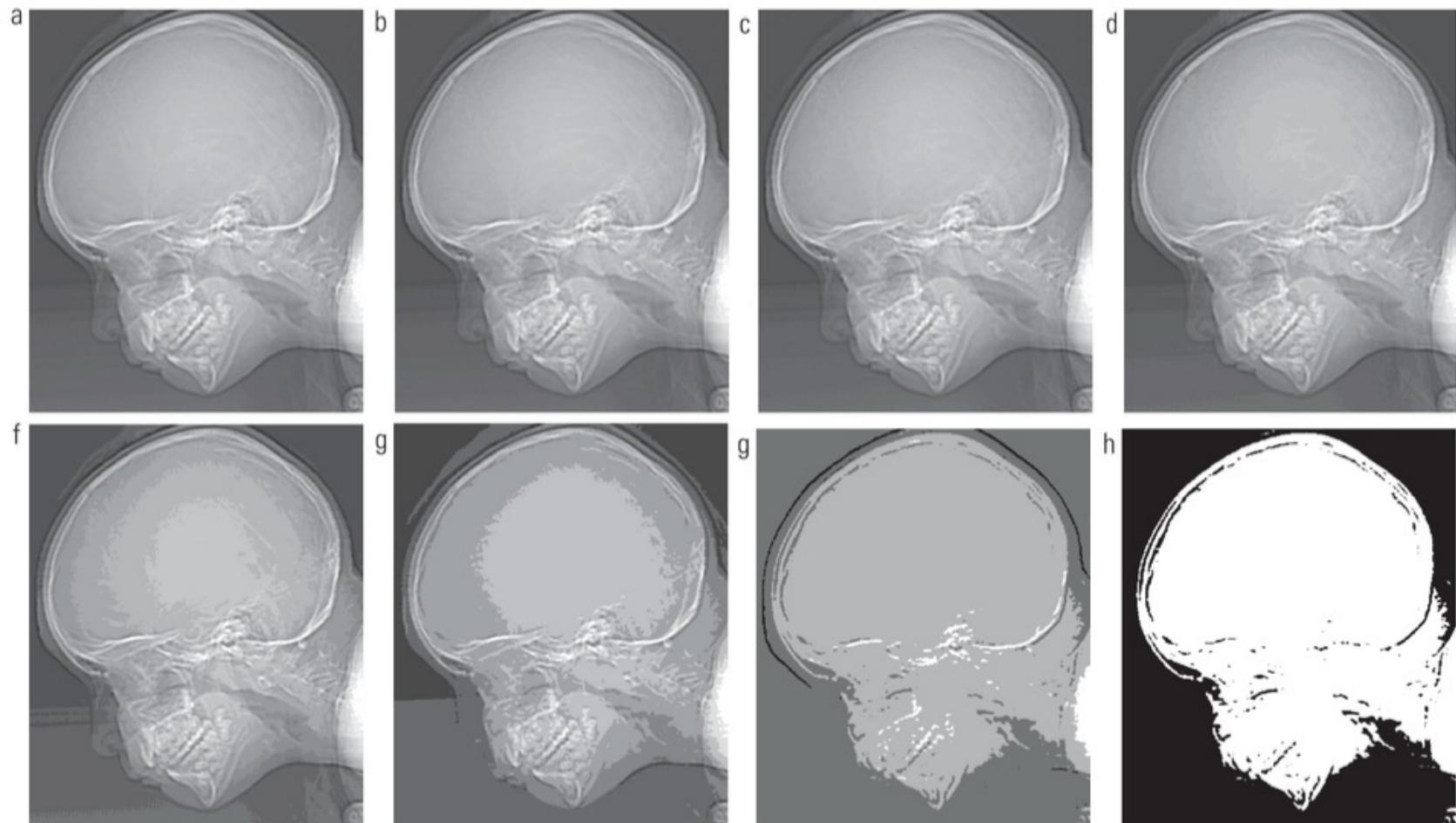


**Figura 2.19** Uma imagem ilustrando a saturação e o ruído. A saturação é o valor mais alto além do qual todos os níveis de intensidade são cortados (observe como toda a área saturada tem um nível de intensidade constante e alto). O ruído nesse caso aparece com um padrão de textura granulada. O ruído, especialmente nas regiões mais escuras de uma imagem (por exemplo, o caule da rosa) mascara o menor nível real de intensidade detectável.

- Efeitos da amostragem



- Efeitos da quantização



**Figura 2.21** (a) Imagem de  $452 \times 374$  com 256 níveis de cinza (intensidade). (b)-(d) Imagem exibida em 128, 64 e 32 níveis de cinza enquanto o tamanho da imagem é mantido constante. (e)-(h) Imagem exibida em 16, 8, 4 e 2 níveis de cinza. (Cortesia original do Dr. David R. Pickens, Departamento de Radiologia e Ciências Radiológicas, Centro Médico da Universidade de Vanderbilt.)

---

## 2.3. INTERPOLAÇÃO

---

- Interpolação via vizinho mais próximo *versus* bicúbica





## 2.4. RELACIONAMENTO BÁSICO ENTRE PIXELS

---

- Vizinhança-4
  - pixel  $(l,c) \Rightarrow N_4(p)$  vizinhos =  $(l-1,c), (l+1,c), (l,c-1), (l,c+1)$
  - pixel  $(l,c) \Rightarrow N_D(p)$  vizinhos =  $(l-1,c-1), (l+1,c-1), (l-1,c+1), (l+1,c+1)$
- Vizinhança-8  $\Rightarrow N_4(p) + N_D(p)$

## 2.5. OPERAÇÕES INTRODUTÓRIAS

---

- No MATLAB®

`>> I = imread("nome_do_arquivo_com_extensão")`  $\Rightarrow$  Lê imagem

`>> imwrite(I, "nome_do_arquivo_com_extensão", "extensão")`  $\Rightarrow$  Salva imagem

`>> imshow(I)`  $\Rightarrow$  Mostra imagem em uma "*figure*"

---



`>> I = uint8(I)`  $\Rightarrow$  Faz um *cast* de um *double* para *uint8*, para que a imagem possa ser "plotada" com o *imshow*

- Outros comandos úteis do MATLAB<sup>®</sup> mas que não devem ser usados em aula (úteis?!)

`>> I = imresize(I, fator_de_escala)`  $\Rightarrow$  Redimensiona imagem (interpolação)

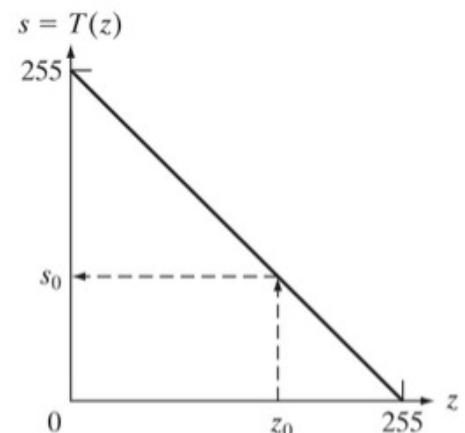
`>> I = rgb2gray(I)`  $\Rightarrow$  Transforma de RGB para tons de cinza

- **Operações Aritméticas**

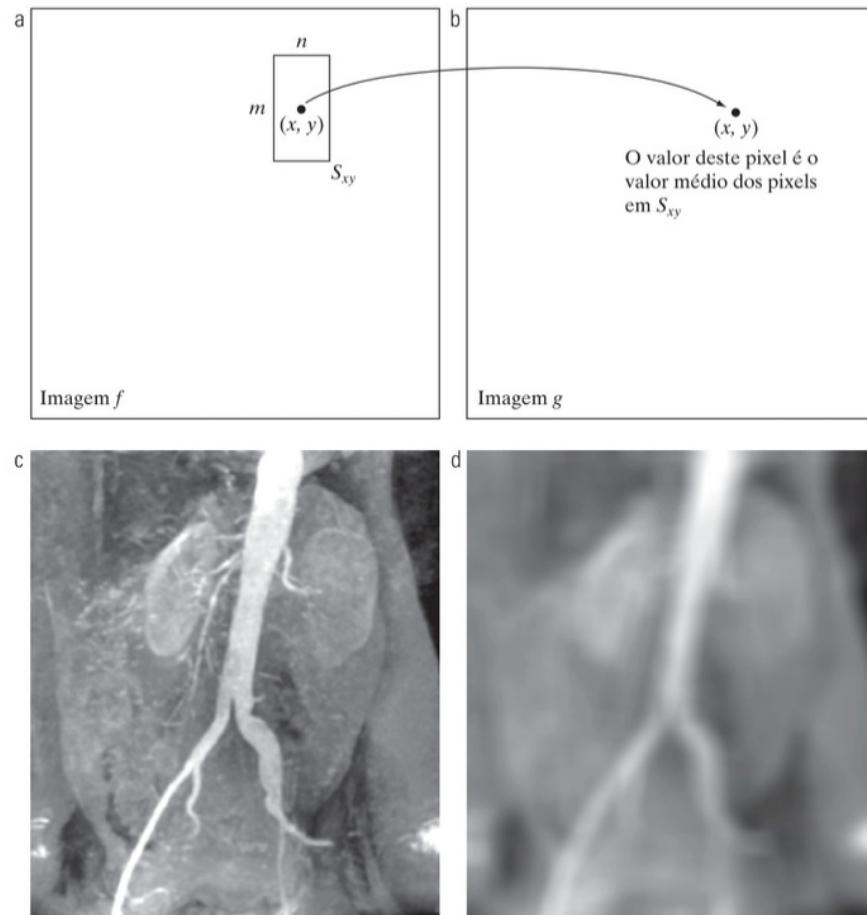
- Verificação diferenças entre imagens (Lista 2, Exercício 2)
- Ajuste de faixa dinâmica (Lista 2, Exercício 1)

- **Operações Espaciais**

- Operações ponto a ponto



- Operações por vizinhança (Lista 2, Exercício 4)



**Figura 2.35** Cálculo da média local utilizando processamento por vizinhança. O procedimento é ilustrado em (a) e (b) para uma vizinhança retangular. (c) O angiograma da aorta discutido na Seção 1.3.2. (d) O resultado da utilização da Equação 2.6-21 com  $m = n = 41$ . As imagens estão no tamanho  $790 \times 686$  pixels.

---

## 2.6. TRANSFORMAÇÕES GEOMÉTRICAS (*rubber sheet*) E REGISTRO DE IMAGENS

---

$$(l_f, c_f) = T\{(l_o, c_o)\}$$

- $(l_o, c_o)$  = coordenadas do pixel na imagem original
- $(l_f, c_f)$  = coordenadas do pixel na imagem transformada
- **Redução de Dimensão (*Shrink*)**

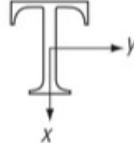
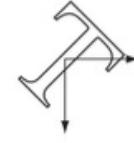
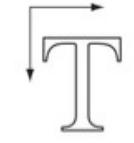
$$(l_f, c_f) = T\{(l_o, c_o)\} = (l_o/2, c_o/2)$$

- **Transformação Afim** (Lista 2, Exercício 4)

- Escala
- Rotação
- Translação
- Cisalhamento

$$\begin{bmatrix} l_f & c_f & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_o & c_o & 1 \end{bmatrix} \mathbf{T}$$

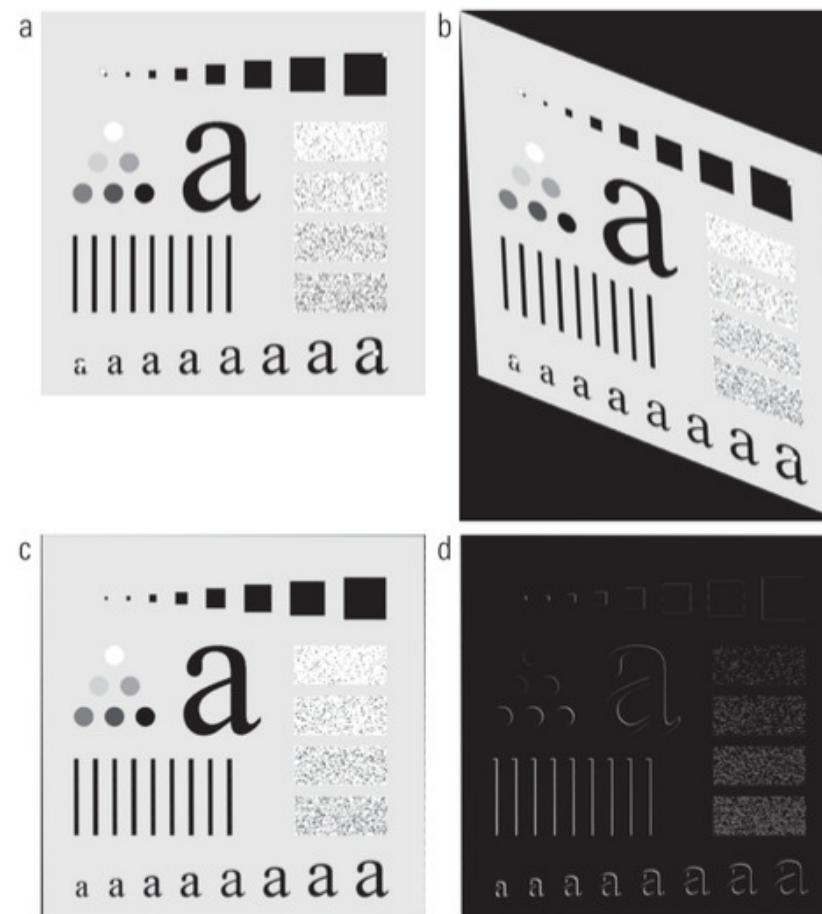
$$\begin{bmatrix} l_f & c_f & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_o & c_o & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & 0 \\ t_{21} & t_{22} & 0 \\ t_{31} & t_{32} & 1 \end{bmatrix}$$

Nome da transformação	Matriz afim, T	Equações coordenadas	Exemplo
Identidade	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = v$ $y = w$	
Escala	$\begin{bmatrix} c_x & 0 & 0 \\ 0 & c_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = c_x v$ $y = c_y w$	
Rotação	$\begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = v \cos \theta - w \sin \theta$ $y = v \sin \theta + w \cos \theta$	
Translação	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ t_x & t_y & 1 \end{bmatrix}$	$x = v + t_x$ $y = w + t_y$	
Cisalhamento (vertical)	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ s_v & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = v + s_v w$ $y = w$	
Cisalhamento (horizontal)	$\begin{bmatrix} 1 & s_h & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = v$ $y = s_h v + w$	



- Mapeamento Direto e Inverso
  - Mapeamento direto  $\Rightarrow$  para cada pixel de entrada verifica-se a posição respectiva na imagem de saída
    - Pode ter pixel na saída que não receba nenhum pixel da entrada
    - Pode ter pixel na saída que receba mais de um pixel da entrada
  - Mapeamento inverso  $\Rightarrow$  para cada pixel da saída verifica-se a posição respectiva na imagem de entrada
    - $(l_o, c_o) = T^{-1}\{(l_f, c_f)\}$
    - Pode (irá) necessitar interpolação
    - Mais eficiente que o mapeamento direto

- **Registro de Imagens** (Lista 2, Exercício 5)
  - Processo de alinhamento de duas imagens
  - Estimação da função de transformação entre duas imagens
  - Principais abordagens para o Registro
    - Hipótese de movimento global
      - Translacional
      - Afim
      - Etc.
    - Fluxo óptico
  - As abordagens mais comuns (simples) se baseiam em pontos de controle



**Figura 2.37** Registro de imagens. (a) Imagem de referência. (b) Entrada (imagem geometricamente distorcida). Pontos de controle correspondentes são mostrados como pequenos quadrados brancos próximos aos cantos da imagem. (c) Imagem registrada (observe os erros nas bordas externas). (d) Diferença entre (a) e (c), mostrando mais erros de registro.

- Abordagem baseada em aproximação bilinear
  - As expressões

$$\begin{cases} c_f = w_1 c_o + w_2 l_o + w_3 c_o l_o + w_4 \\ l_f = w_5 c_o + w_6 l_o + w_7 c_o l_o + w_8 \end{cases}$$

mapeiam a transformação espacial em uma imagem.

- Com 4 pontos de controle, tem-se 8 equações das quais podem ser encontrados os 8 coeficientes  $w_i$
- Em notação matricial:
  - Transformação direta

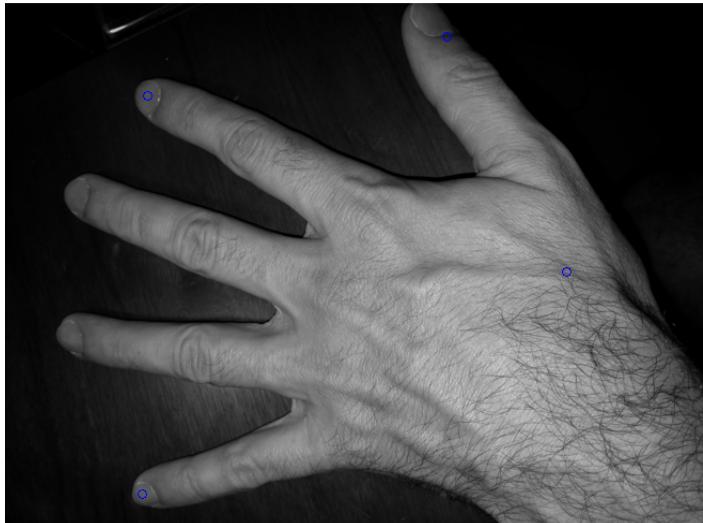
$$\begin{bmatrix} c_{f1} \\ c_{f2} \\ c_{f3} \\ c_{f4} \\ l_{f1} \\ l_{f2} \\ l_{f3} \\ l_{f4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{o1} & l_{o1} & c_{o1}l_{o1} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ c_{o2} & l_{o2} & c_{o2}l_{o2} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ c_{o3} & l_{o3} & c_{o3}l_{o3} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ c_{o4} & l_{o4} & c_{o4}l_{o4} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_{o1} & l_{o1} & c_{o1}l_{o1} & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_{o2} & l_{o2} & c_{o2}l_{o2} & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_{o3} & l_{o3} & c_{o3}l_{o3} & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_{o4} & l_{o4} & c_{o4}l_{o4} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \\ w_5 \\ w_6 \\ w_7 \\ w_8 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{p}_f = \mathbf{M}\mathbf{w}$$

Portanto:

$$\mathbf{w} = \mathbf{M}^{-1} \mathbf{p}_f$$

- Transformação inversa  $\Rightarrow$   $\begin{cases} c_o = w_1 c_f + w_2 l_f + w_3 c_f l_f + w_4 \\ l_o = w_5 c_f + w_6 l_f + w_7 c_f l_f + w_8 \end{cases}$
-



(a)



(b)



(c)

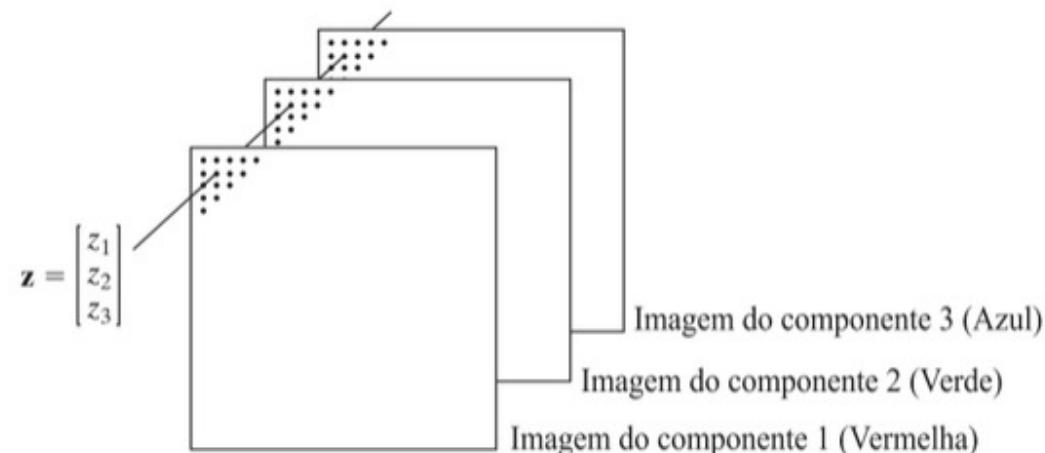
(a) Imagem de referência

(b) Imagem de entrada

(c) Imagem de entrada registrada

## 2.7. FORMULAÇÃO VETORIAL

- A imagem vista como um ponto no espaço multidimensional
- Pixel de uma imagem colorida visto como um vetor RGB



**Figura 2.38** Formação de um vetor a partir de valores de pixels correspondentes em três imagens de componentes RGB.

- Distância Euclidiana

$$D(\mathbf{z}, \mathbf{a}) = \|\mathbf{z} - \mathbf{a}\| = \left[ (\mathbf{z} - \mathbf{a})^T (\mathbf{z} - \mathbf{a}) \right]^{\frac{1}{2}} = \left[ (z_1 - a_1)^2 + (z_2 - a_2)^2 + \cdots + (z_n - a_n)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

- Distância entre um pixel  $\mathbf{z}$  e um ponto  $\mathbf{a}$  no espaço  $n$ -dimensional
- Distância (diferença) entre duas imagens
- Representação de imagens na forma vetorial (lexicográfica)

ex:  $\mathbf{g} = \mathbf{Hf} + \mathbf{n}$

---