

# VISÃO COMPUTACIONAL

## AULA 2

### IMAGENS DIGITAIS

# IMAGENS DIGITAIS

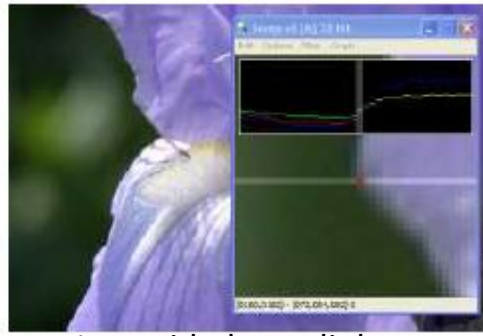
## INTRODUÇÃO

- Imagens de Intensidade
  - imagens codificadas como intensidade de luz, adquiridas por câmeras TV
  
- Imagens de Profundidade
  - imagens codificadas como forma e distância, adquiridas por sensores especiais, como sonares, digitalizadores a laser (laser scanners) ou câmeras 3D.

Qualquer imagem digital, não importa o seu tipo, é um vetor bi-dimensional (matriz) de números.



Imagem original



Intensidade em linha

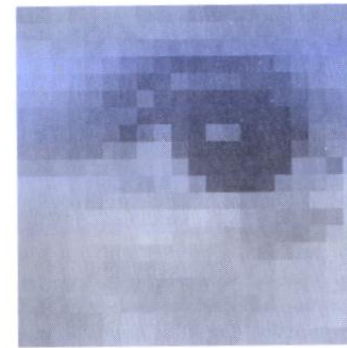


Imagem 20 x 20 pixels de um olho

45	60	98	127	132	133	137	133
46	65	98	123	126	128	131	133
47	65	96	115	119	123	135	137
47	63	91	107	113	122	138	134
50	59	80	97	110	123	133	134
49	53	68	83	97	113	128	133
50	50	58	70	84	102	116	126
50	50	52	58	69	86	101	120

Grade de  
Intensidade após  
conversão em tons  
de cinza

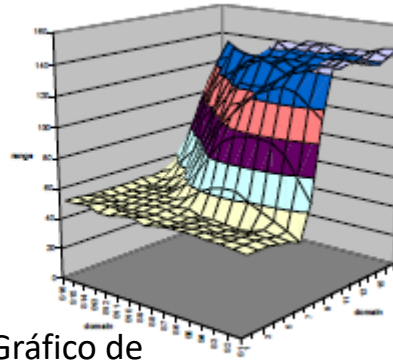


Gráfico de  
profundidade

```

117 125 133 127 130 130 133 121 116 115 100 91 93 94 99 103 112 105 109 106
134 133 138 138 132 134 130 133 128 123 121 113 106 102 99 106 113 109 109 113
146 147 138 140 125 134 124 115 102 96 93 94 99 96 99 100 103 110 109 110
144 141 136 130 120 108 88 74 53 37 31 37 35 39 53 79 93 100 109 116
139 136 129 119 102 85 58 31 41 77 51 53 53 33 37 41 69 94 105 108
132 127 117 102 87 57 49 77 42 28 17 15 13 13 17 41 53 69 88 100
124 120 108 94 72 74 72 31 35 31 15 13 15 11 15 13 46 75 83 96
125 115 102 93 88 82 42 79 113 41 19 100 82 11 11 17 31 91 99 100
124 116 109 99 91 113 99 140 144 57 20 20 15 11 15 17 63 87 119 124
136 133 133 135 138 133 132 144 150 120 24 17 15 15 17 20 115 113 88 150
158 157 157 154 149 145 133 127 146 150 116 35 20 19 28 105 124 128 141 171
155 154 156 155 146 155 154 154 147 139 148 150 138 120 128 129 130 151 156 165
150 151 154 162 166 167 169 174 172 167 177 166 164 140 134 120 121 120 127 172
145 149 151 157 165 169 173 179 176 166 166 157 145 136 129 124 120 136 163 168
144 148 153 160 159 158 165 172 165 169 157 151 149 141 130 140 151 162 169 167
144 141 147 155 154 149 156 151 157 157 151 144 147 147 149 159 158 159 166 165
139 140 140 150 153 151 150 146 140 139 138 140 145 151 149 156 156 162 162 161
136 134 138 146 156 164 153 146 145 136 139 139 140 141 149 157 159 161 169 166
136 133 136 135 144 159 168 159 151 142 141 145 139 146 153 156 164 167 172 168
154 151 146 141 147 154 156 160 161 157 153 154

```

arrays of numbers: a 20 x 20 grey-level image of an eye  
(y) and the corresponding 2-D array.

- Esses números podem representar intensidade de luz, distâncias etc...
- A relação exata entre a imagem digital e o mundo físico é determinada pelo processo de aquisição, que depende do sensor utilizado.
  - Qualquer informação contida em imagens (forma, medições, ou identidade de objetos) deve ser extraída (calculada) a partir de vetores numéricos bi-dimensionais nos quais está codificada.

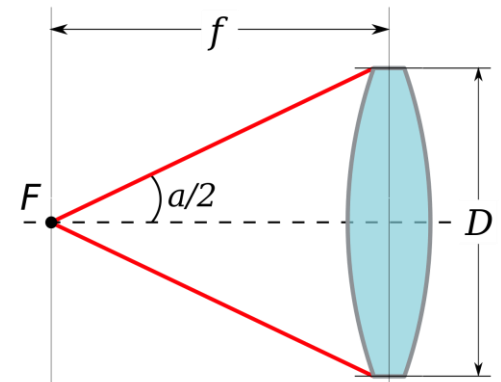
# IMAGENS DE INTENSIDADE

- CONCEITOS PRINCIPAIS

- **Parâmetros Ópticos de Lentes**

Caracteriza o sensor óptico

- Tipos de Lentes (grossa, fina, côncava, convexa etc.)
- Distância Focal
- Campo de Visão
- Ângulo de Abertura da lente



## ○ **Parâmetros Fotométricos**

Aparecem em modelos de energia de luz incidindo no sensor após ser refletida por objetos em cena.

- Tipo, intensidade, e direção de iluminação
- Propriedades de refletância das superfícies visualizadas
- Efeitos da estrutura do sensor na quantidade de luz incidindo nos fotoreceptores

## ○ **Parâmetros Geométricos**

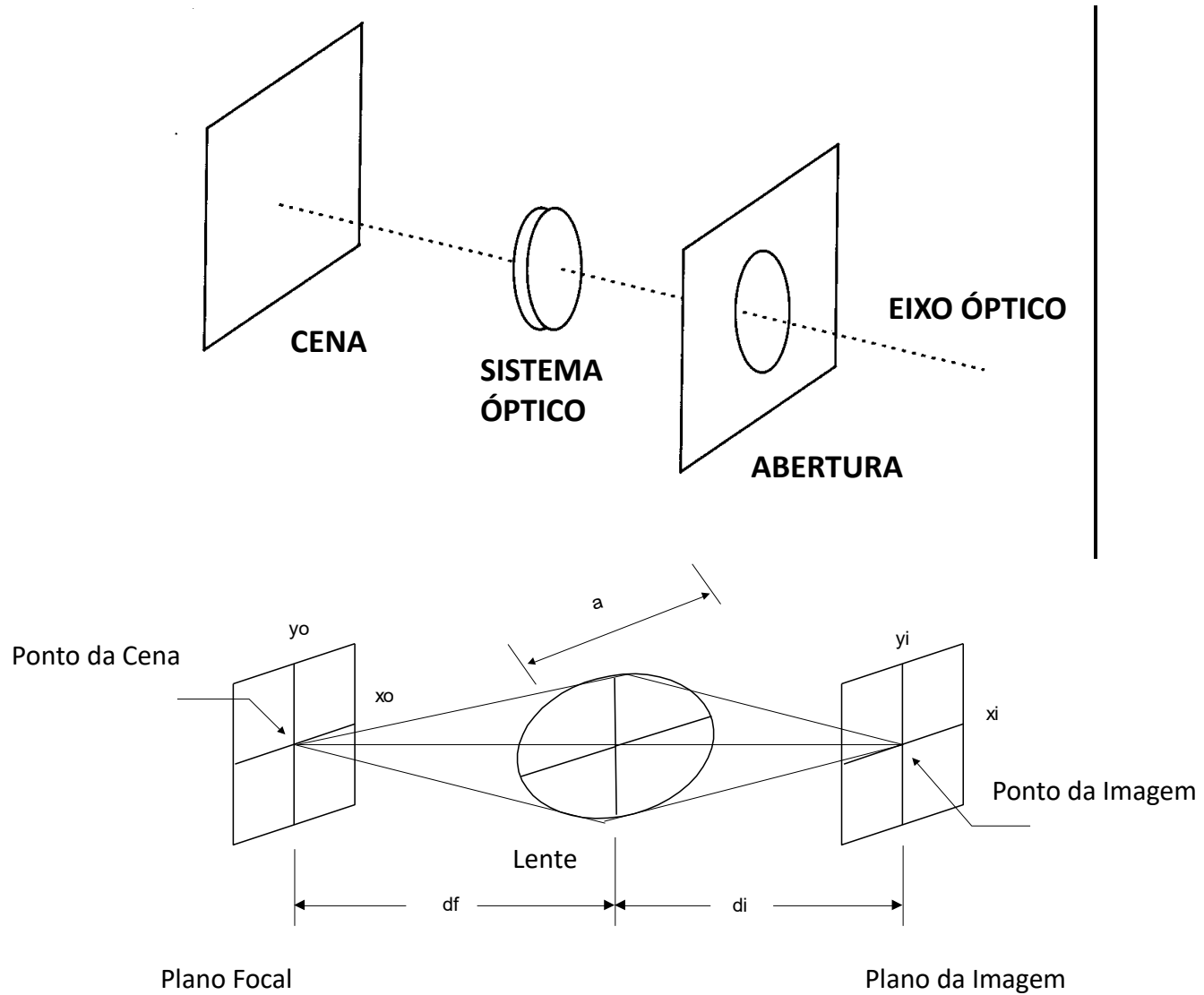
Determinam a posição na imagem sobre a qual o ponto 3-D é projetado

- Tipo de projeção (colimada, difusa etc.)
- Posição e orientação da câmera no espaço
- Distorções de perspectiva introduzidas pelo processo de aquisição da imagem

Todos os fatores acima são significativos em qualquer dispositivo de aquisição de imagens, como câmera fotográfica, video-câmeras, ou sistemas computadorizados. Outros parâmetros podem ser incluídos na lista acima para caracterizar imagens digitais e o processo de aquisição

- Propriedades físicas da matriz fotosensitiva da camera
- A natureza discreta dos fotorreceptores
- A quantização da escala de intensidades

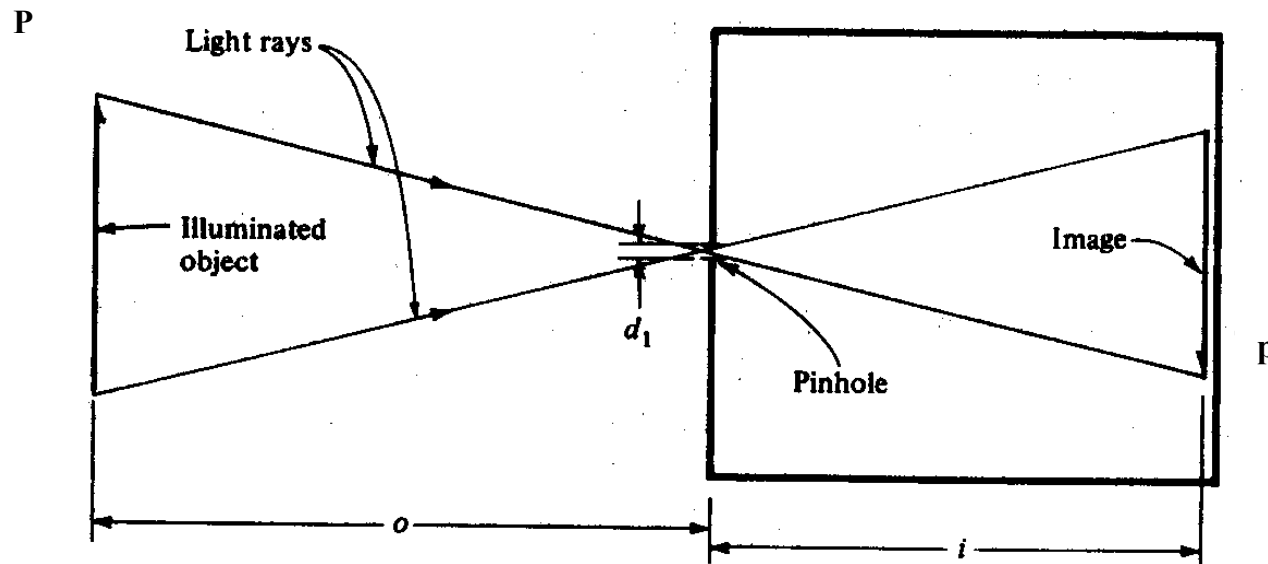
## ▪ O BÁSICO EM ÓPTICA



## ○ Imagem em Foco

Qualquer ponto ***P*** na cena converge para um único ponto ***p*** no plano da imagem. Isto pode ser obtido de duas formas

1. Redução da abertura da câmera a um único ponto, chamado *pinhole*.



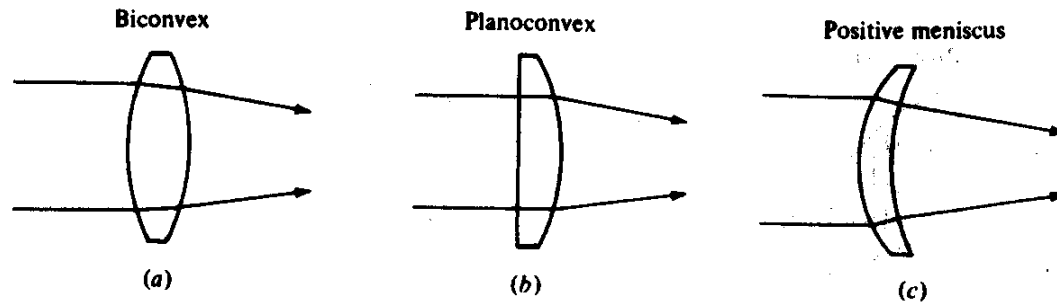
- Limitação quanto à incidência de luz



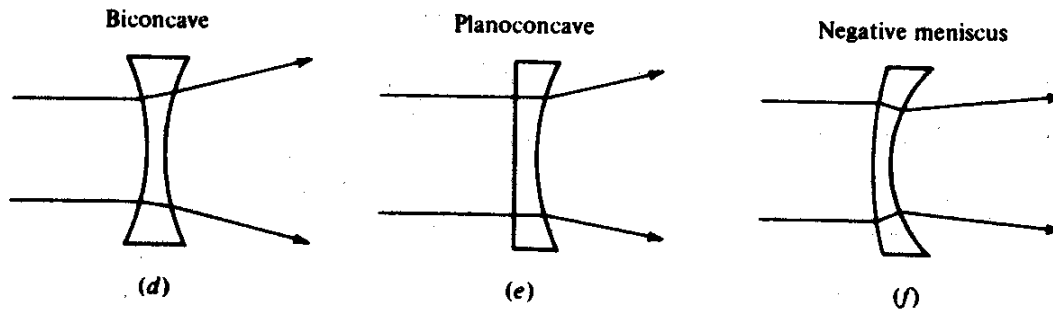
## 2. Uso de sistema óptico composto de lentes, diafragmas, e outros elementos especificamente projetados.

Um sistema óptico é um dispositivo que produz a mesma imagem obtida por uma abertura pinhole, mas com uma abertura muito maior (através de um diafragma), e menor tempo de exposição, aumentando a capacidade de captar luminosidade.

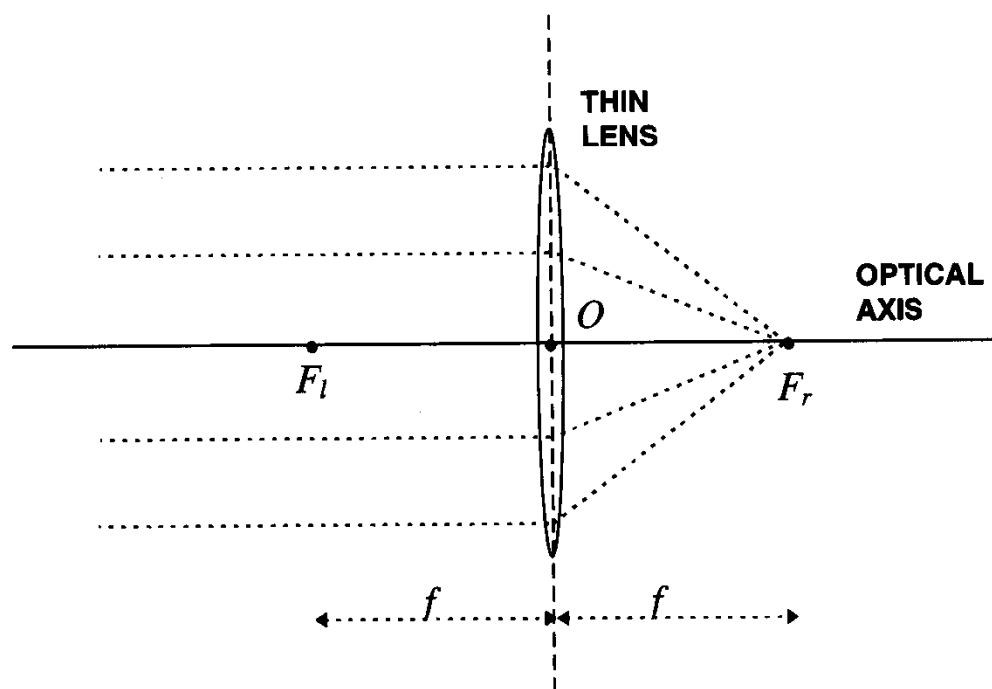
### ○ Lentes Finas



Lentes convergentes (positivas)



Lentes divergentes (negativas)



Geometria óptica de uma lente fina

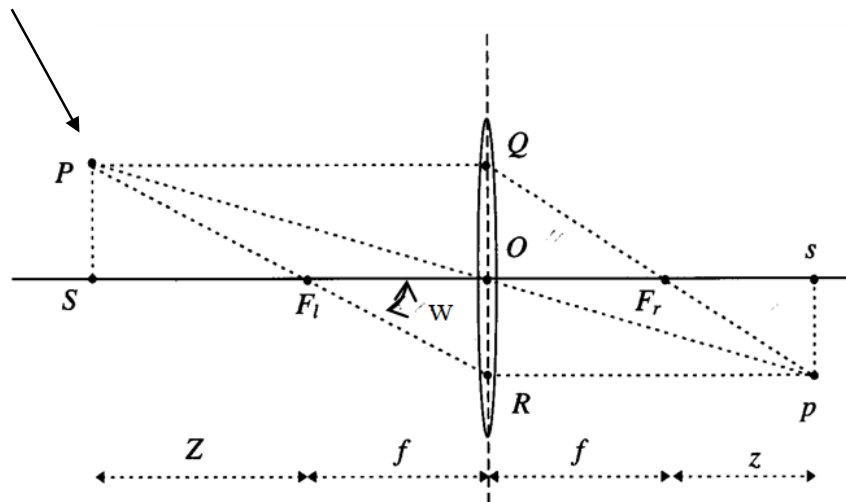
- Propriedades básicas

Qualquer raio de luz entrando na lente, paralelo ao eixo óptico de um lado, passa pelo ponto focal do outro lado.

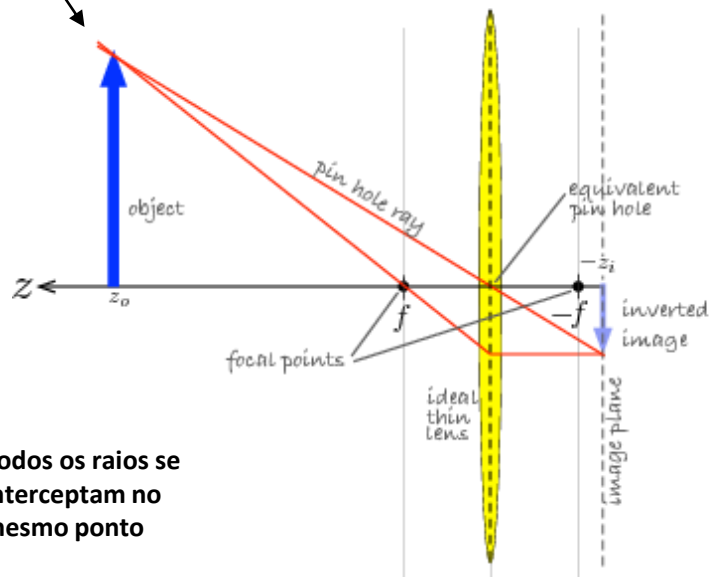
Qualquer raio entrando na lente passando pelo ponto focal de um lado emerge paralelo ao eixo óptico do outro lado.

- Equações Fundamentais das Lentes Finas

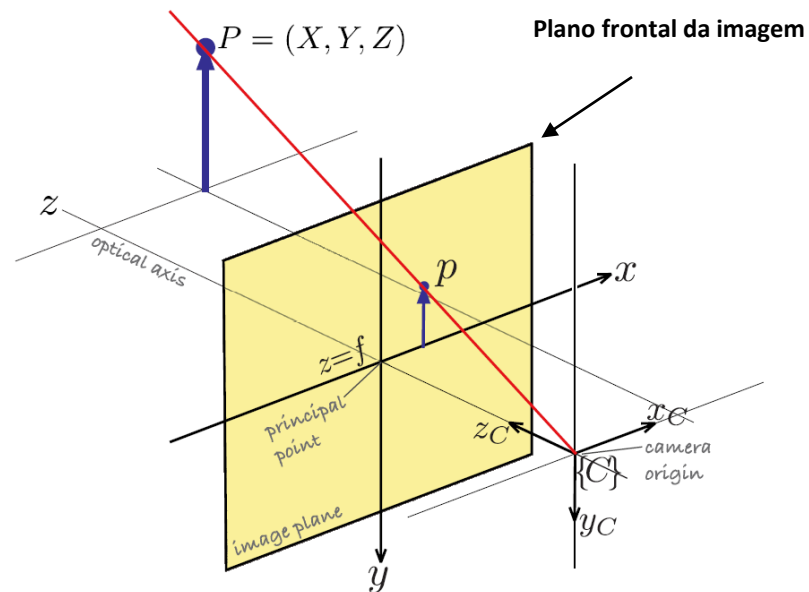
*P no infinito*



*P próximo da lente*

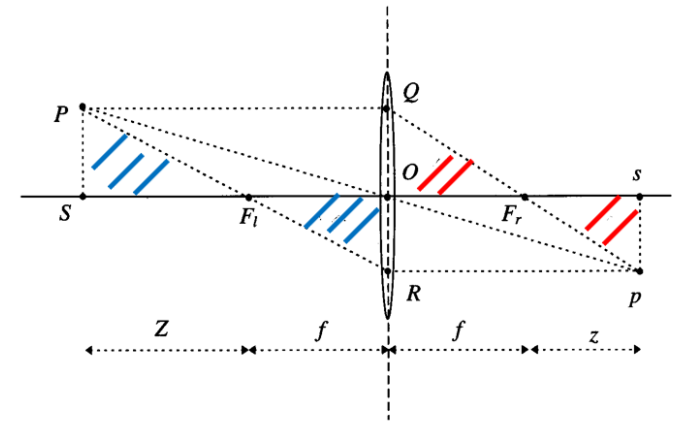


Todos os raios se interceptam no mesmo ponto



Por triângulos semelhantes

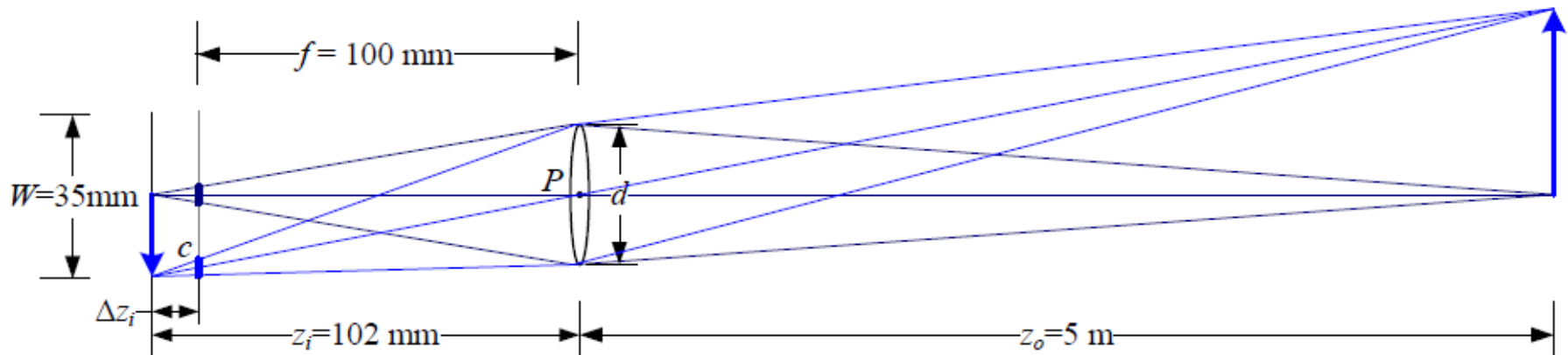
$$Zz = f^2 \quad \left( \frac{PS}{SF_l} = \frac{OR}{OF_l} \text{ e } \frac{OQ = PS}{OF_r} = \frac{ps = OR}{sF_r} \right)$$



E fazendo  $Z' = Z + f$  e  $z' = z + f$  tem-se a

$$\frac{1}{Z'} + \frac{1}{z'} = \frac{1}{f}$$

***Equação Fundamental das Lentes Finas***



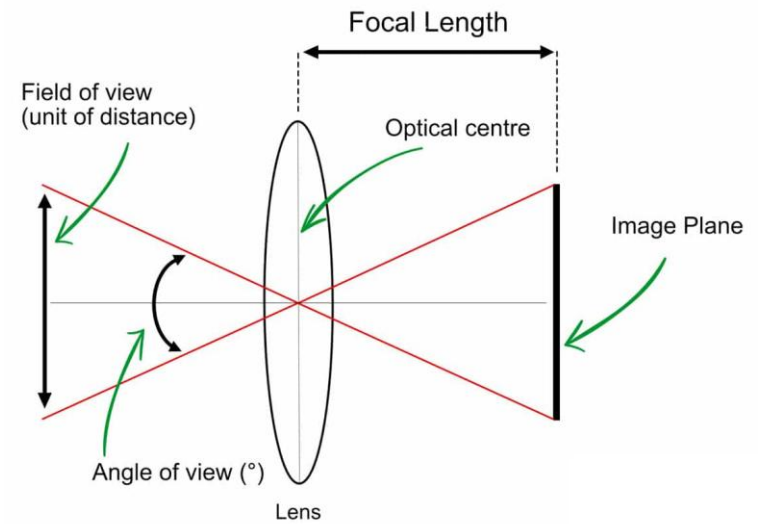
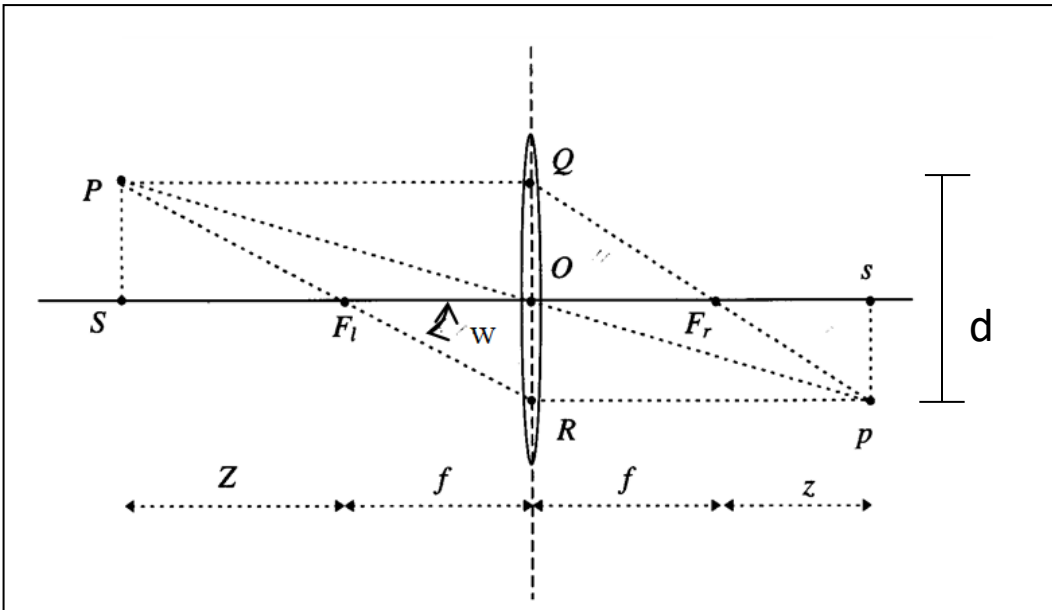
Uma lente fina de distância focal  $f$  focaliza a luz de um plano a uma distância  $z_o$  na frente da lente em um plano a uma distância  $z_i$  atrás da lente, onde  $1/z_o + 1/z_i = 1/f$ . Se o plano focal (linha vertical ao lado de c) é movido para frente, a imagem não estará mais em foco e o círculo de confusão c (pequenos segmentos de linha grossa) depende da distância do movimento do plano da imagem  $z_i$  em relação ao diâmetro da abertura da lente  $d$ . O campo de visão (f.o.v.) depende da relação entre a largura do sensor  $W$  e a distância focal  $f$  (ou, mais precisamente, a distância de foco  $z_i$ , que geralmente é bem próxima de  $f$ ).

- **Campo de Visão**

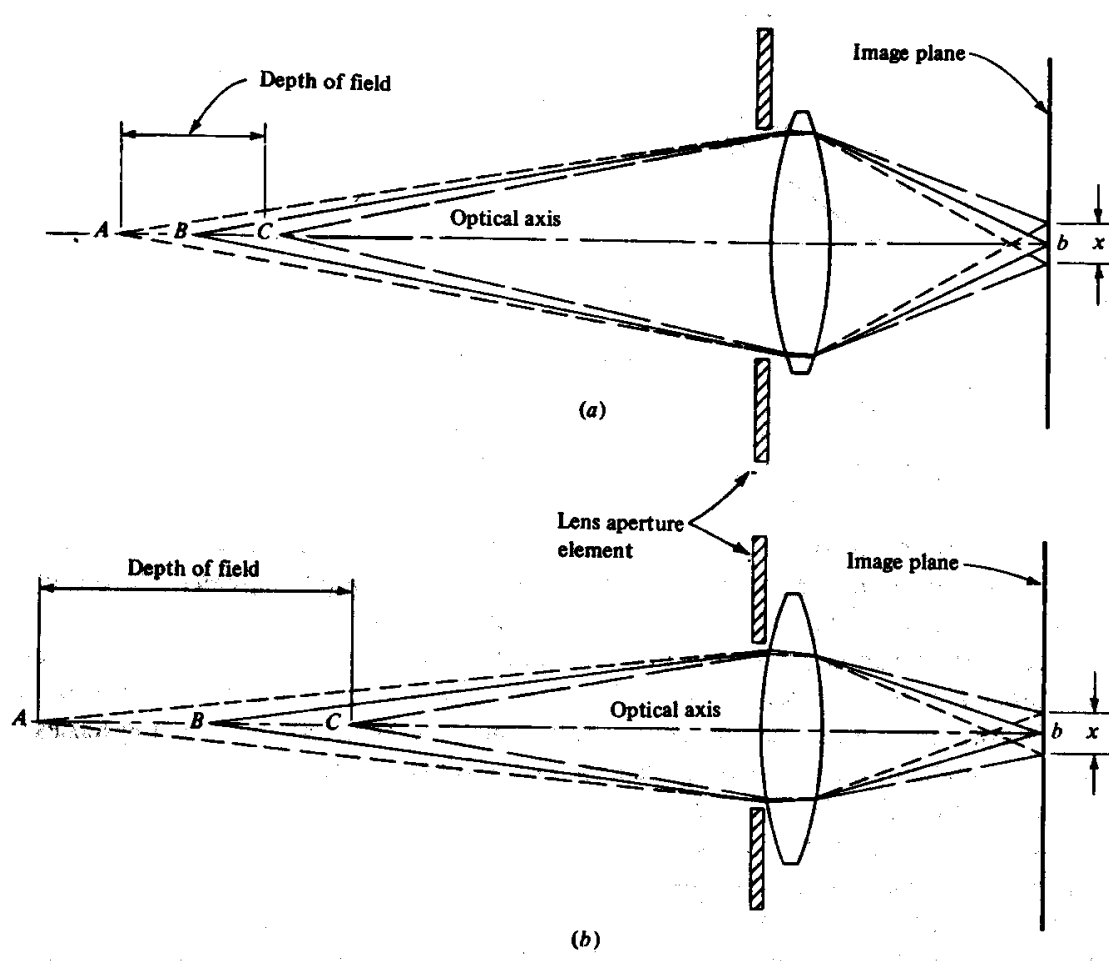
Calculado do

- diâmetro efetivo da lente e da distância focal

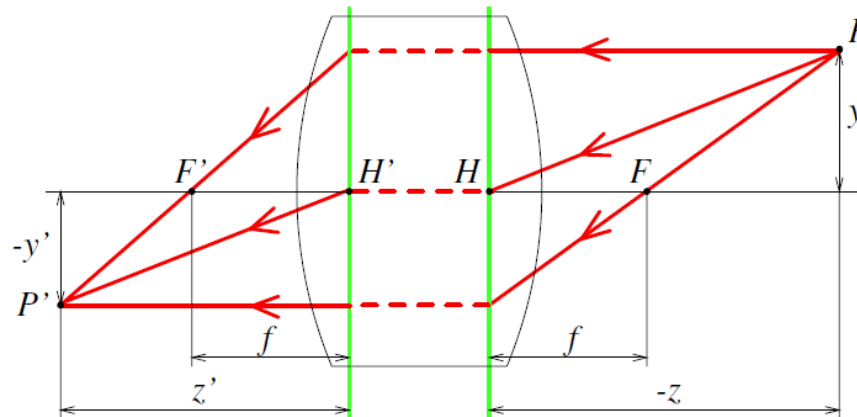
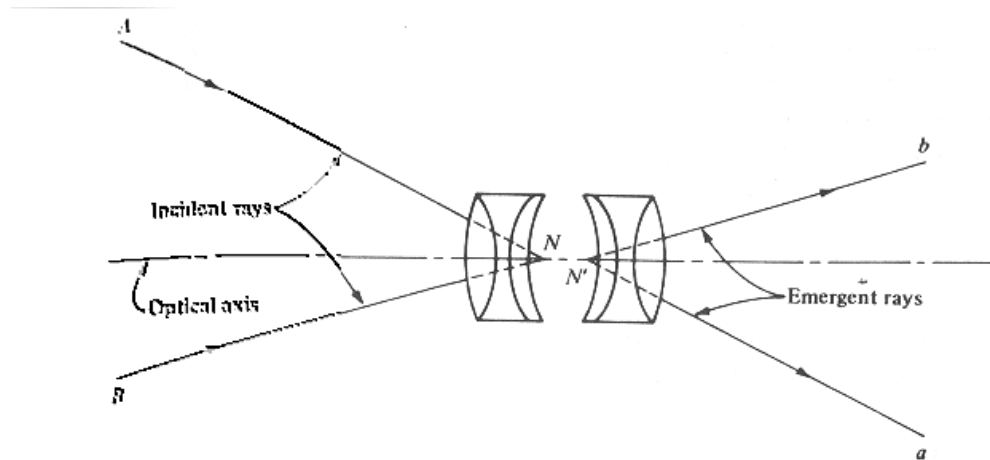
$$\tan w = \frac{d}{2f}$$



## ○ Profundidade de Campo



## ○ Lentes Grossas (não ideais)

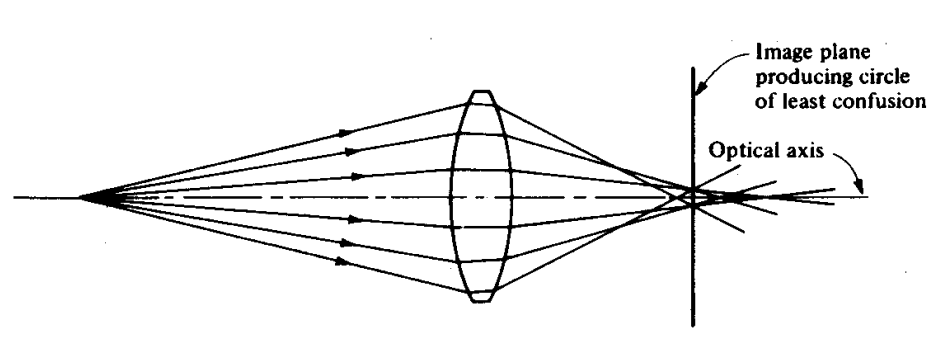


Posição na imagem depende do índice de refração da lente.

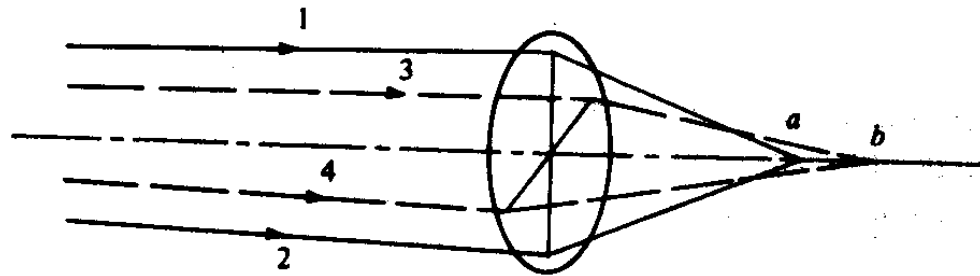
## ○ Qualidade da Lente

Imperfeições nas lentes são chamadas *aberrações*

### ■ Aberração Esférica

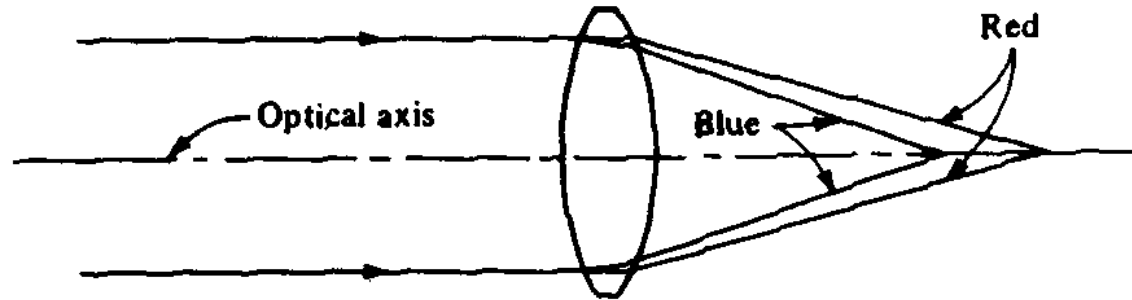


### ■ Astigmatismo

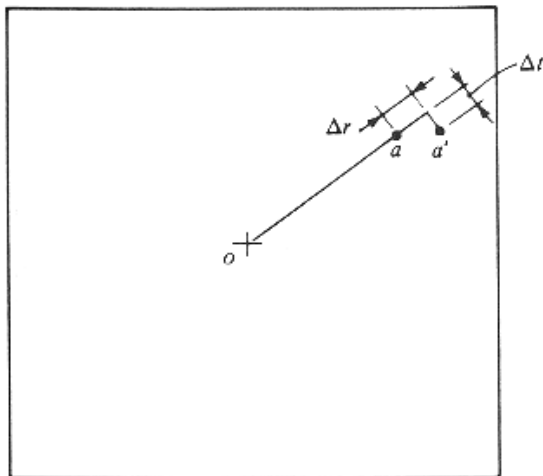




## ■ Aberrações Cromáticas



## ■ Distorções Geométricas



## ▪ O BÁSICO EM RADIOMETRIA

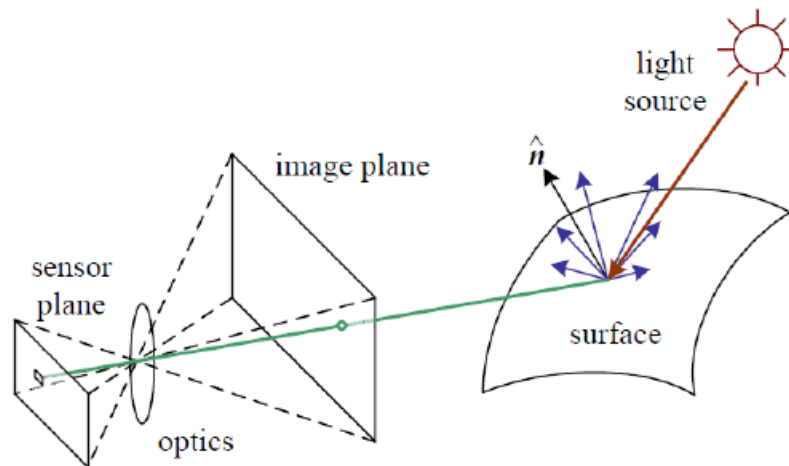
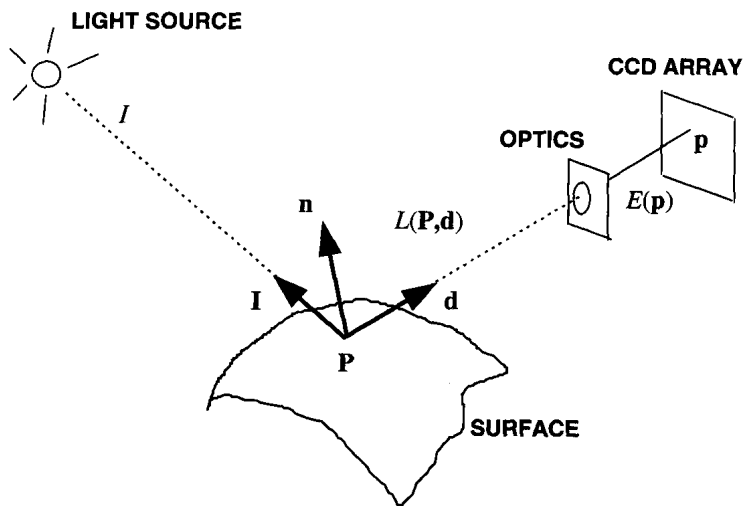
- Estuda as relações entre as quantidades de energia luminosa emitida de fontes de luz, refletida de superfícies e registrada por sensores
  - Quantificar a luz refletida de superfícies de objetos
  - Quantificar a luz refletida que alcança o sensor da câmera

### Definições

- Irradiância de Imagem (intensidade, brilho, valor de cinza)
  - Energia luminosa incidente, por unidade de área, e em cada ponto  $p$  do plano de imagem
- Radiância de Cena
  - Energia luminosa, por unidade de área, idealmente emitida por cada ponto  $P$  de uma superfície no espaço 3-D em uma dada direção  $d$  ao ponto  $p$ .

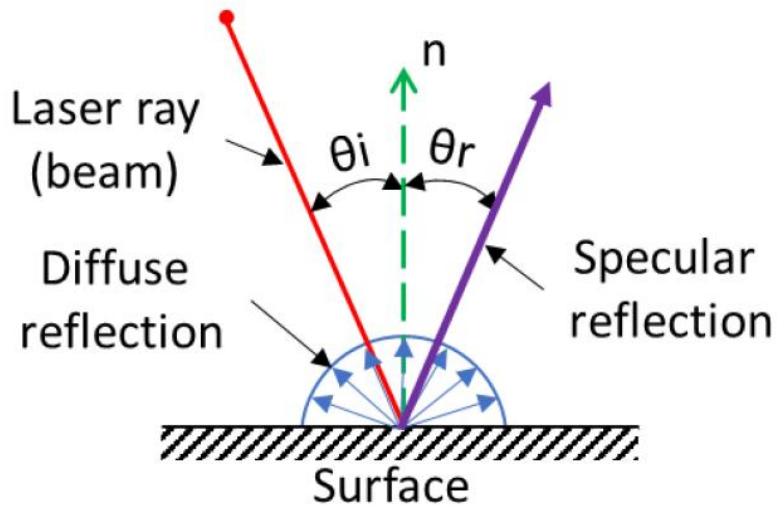
## Reflectância de Superfície e Modelo Lambertiano

- Reflectância de Lambertian (difusa)
  - Um ponto de superfície reflete a luz incidente igualmente em todas as direções; não absorve energia.

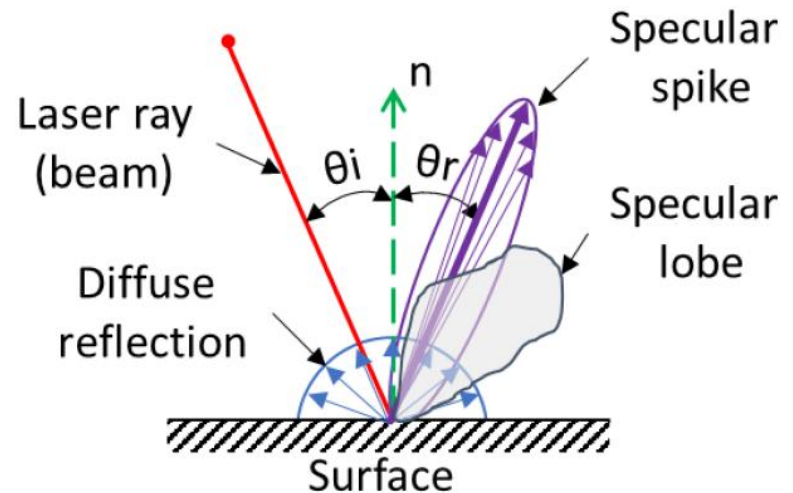


$$L = \rho \vec{I}^T \cdot \vec{n} \quad (\text{energia por unidade de área})$$

- Reflectância Especular
  - Semelhante à de um espelho
- Combinação das Reflectâncias de Lambertian e Especular
  - Objetos em geral



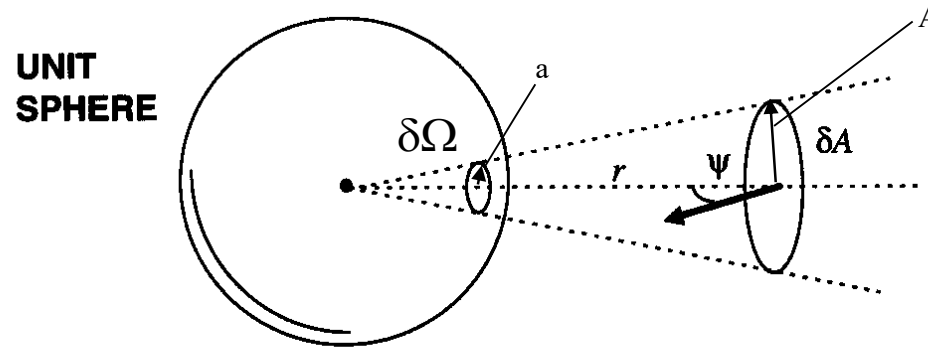
Reflexão especular e difusa (Lambertiana)



Superfícies reais teriam um lobo especular

- **Relação entre Radiância de Superfície e Irradiância de Imagem**

- **Ângulo Sólido**



**Definição de ângulo sólido**

$$\delta\Omega = \text{área} = \text{ângulo sólido} \quad \frac{\delta A}{A^2} = \frac{\delta\Omega}{a^2} \quad \frac{a}{1} = \frac{A}{r}$$

$\delta A = \text{área na cena}$   
 $a$  e  $A = \text{raios}$

$$\delta\Omega = \frac{\delta A \cdot \cos \varphi}{r^2} \implies \text{adimensional}$$

Irradiância de imagem no ponto  $\mathbf{p} \implies E = \frac{\delta P}{\delta I}$

1

$\delta P$  = energia absorvida por  $\mathbf{p}$

$\delta I$  = área pequena em torno de  $\mathbf{p}$

$$\delta P = \delta O \cdot L \cdot \Delta \Omega \cdot \cos \theta$$

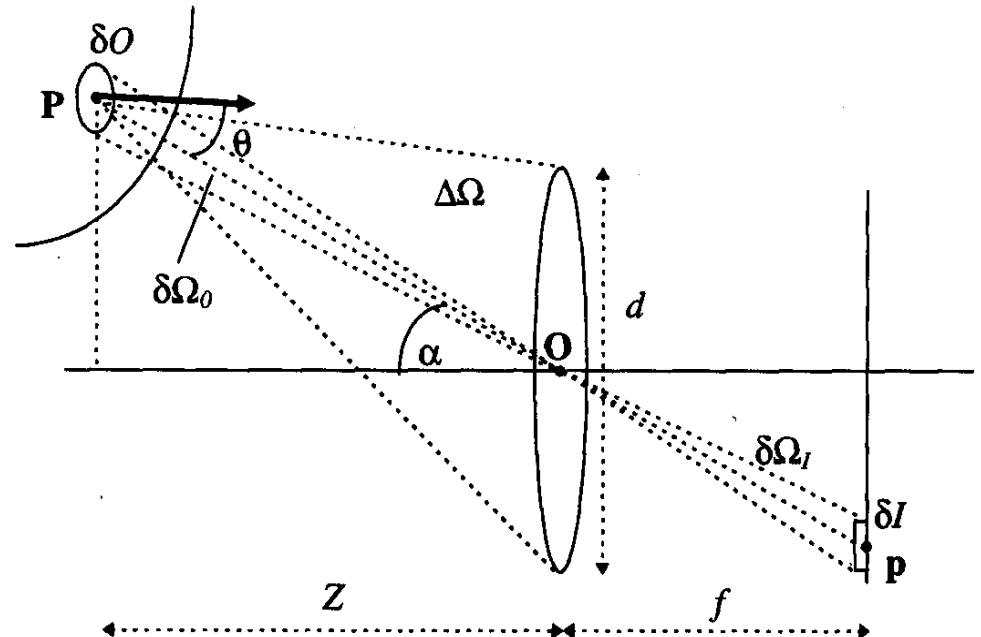
2

$\delta O$  = área pequena em torno de  $\mathbf{P}$

$L$  = energia emitida por unidade de área

$\Delta \Omega$  = ângulo sólido (corrige a área unitária, pela unitária do cone)

$\cos \theta$  = corrige a perspectiva da área (elipse)



De 1 e 2 ==>

$$E = L \cdot \Delta\Omega \cdot \cos\theta \cdot \frac{\delta O}{\delta I} \quad 3$$

Ângulo Sólido:  $\Delta\Omega$

$$\Delta\Omega = \frac{\delta A \cdot \cos\alpha}{r^2}$$

$$\Delta\Omega = \left[ \frac{\pi d^2}{4} \middle/ \left( \frac{Z}{\cos\alpha} \right)^2 \right] \cdot \cos\alpha = \frac{\pi}{4} d^2 \cdot \frac{\cos^3\alpha}{Z^2} \quad 4$$

mas,

$$\frac{\delta O \cos \theta}{\left(\frac{Z}{\cos \alpha}\right)^2} = \frac{\delta I \cdot \cos \alpha}{\left(\frac{f}{\cos \alpha}\right)^2}$$

$$\Rightarrow \frac{\delta O}{\delta I} = \frac{\cos \alpha}{\cos \theta} \cdot \left(\frac{Z}{f}\right)^2$$

5

Combinando 4 e 5 em 3

$$E(p) = L(P) \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d}{f}\right)^2 \cdot \cos^4 \alpha$$

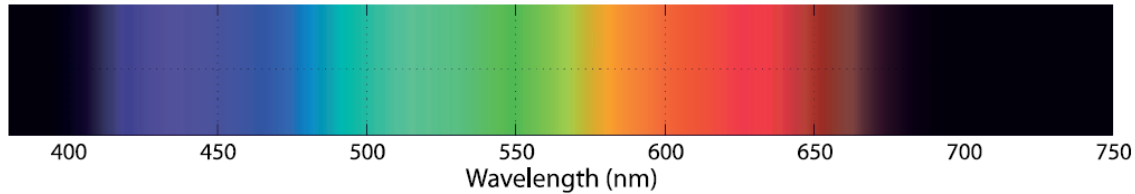
6

$\frac{f}{d}$  = Número-F (F-Number) *propriedade da lente*

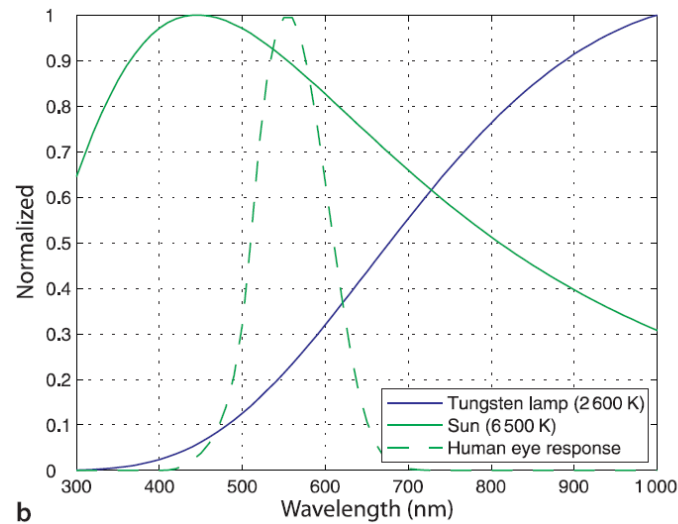
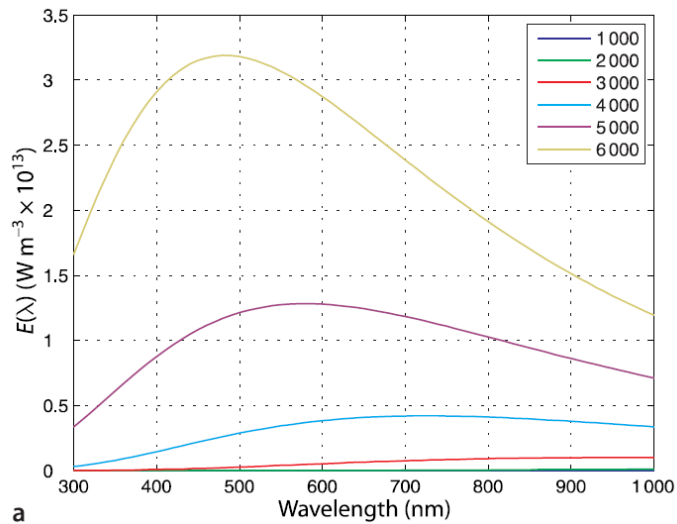
$$F \downarrow \Rightarrow \frac{E}{L} \uparrow$$



- Cores



Espectro eletromagnético que se torna visível na faixa de 400-700 nm de comprimento de onda. Abaixo e acima estão o ultravioleta e o infravermelho



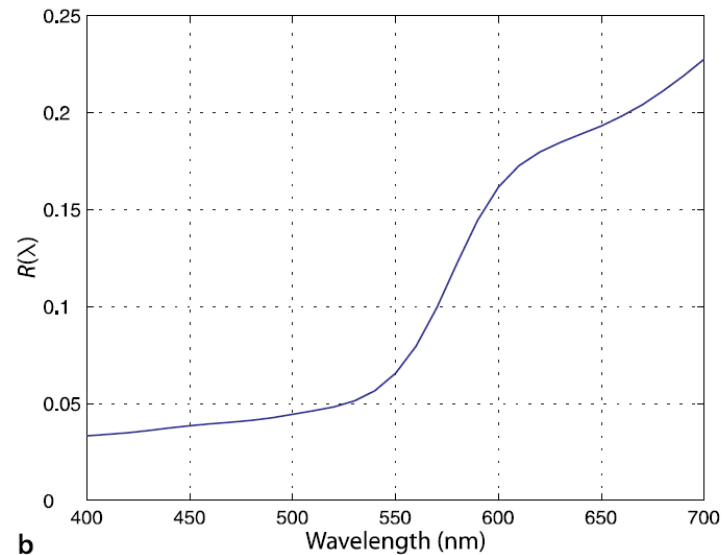
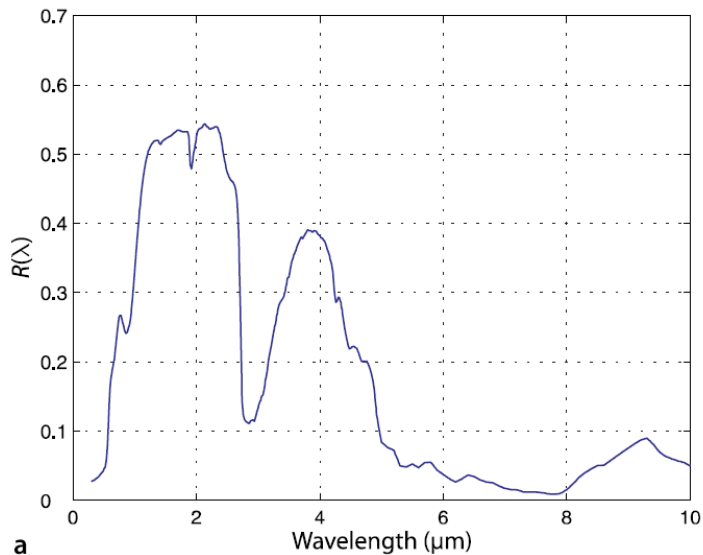
**a.** Espectro de emissões de um corpo negro em função da temperatura. **b.** Espectro de emissões do Sol, de uma lâmpada de tungstênio e a resposta do olho humano.

$L(\lambda)$  = Luminância -> luz refletida de uma superfície

$E(\lambda)$  = luz incidente em uma superfície

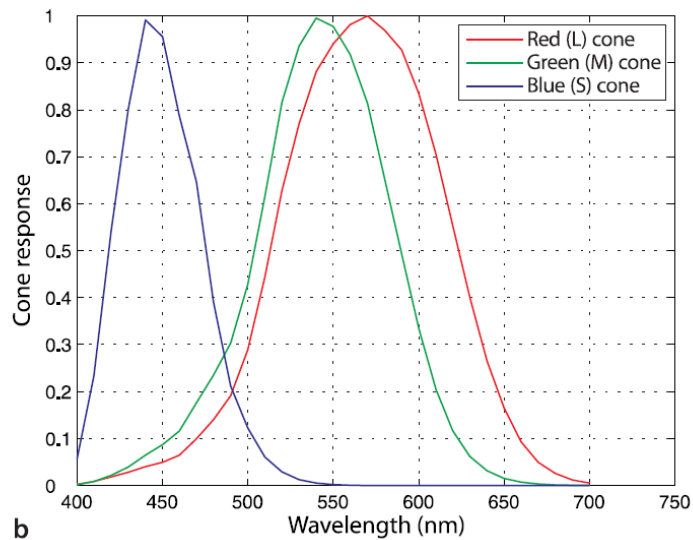
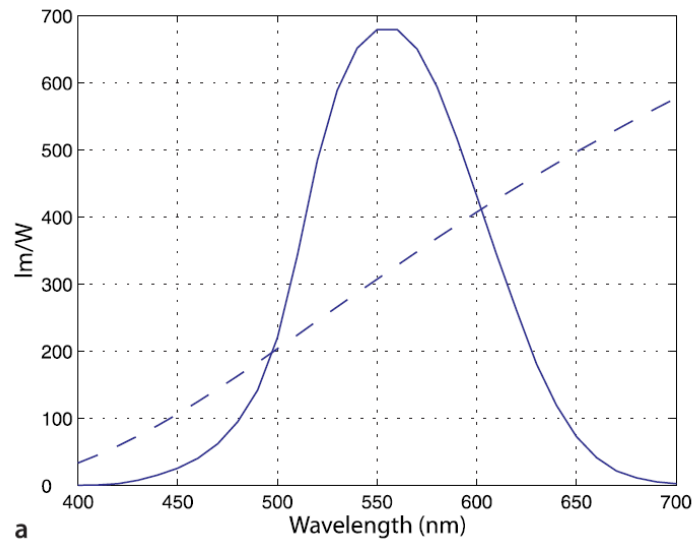
$R(\lambda)$  = reflectância da superfície  $\in [0,1]$

$$L(\lambda) = E(\lambda)R(\lambda) \text{ W m}^{-2}$$



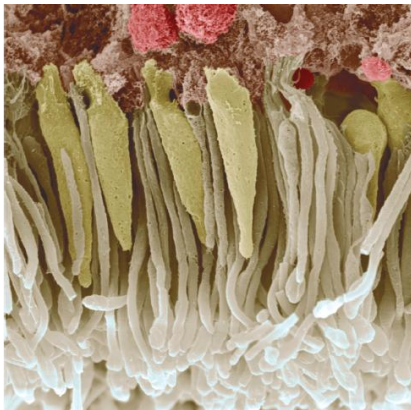
Reflectância de uma parede de tijolos vermelhos

**a.** Faixa de comprimento de onda do ultravioleta ao infravermelho **b.** Close-up na região visível.



a. Curva de luminosidade para um observador humano com pico em 555 nm (verde) e de uma câmera CCD de silício (pontilhado)

b. Espectro de resposta dos cones oculares humanos.



Varredura eletromiográfica colorida de células bastonetes (brancas) e células cones (verdes) **no olho humano**. Os diâmetros das células estão na faixa de 0,5 – 4  $\mu\text{m}$ . As células contêm diferentes tipos de proteínas sensíveis à luz chamadas fotopsinas. Os corpos celulares (vermelhos) das células receptoras estão localizados na camada sobre os bastonetes e cones.

São 3 tipos de cones, sensíveis à luz vermelha, verde e azul, no início, meio e fim do espectro visível, ou seja, a luz é percebida de forma combinada com esses 3 tipos de cones, conforme a intensidade de absorção da luz de cada um.

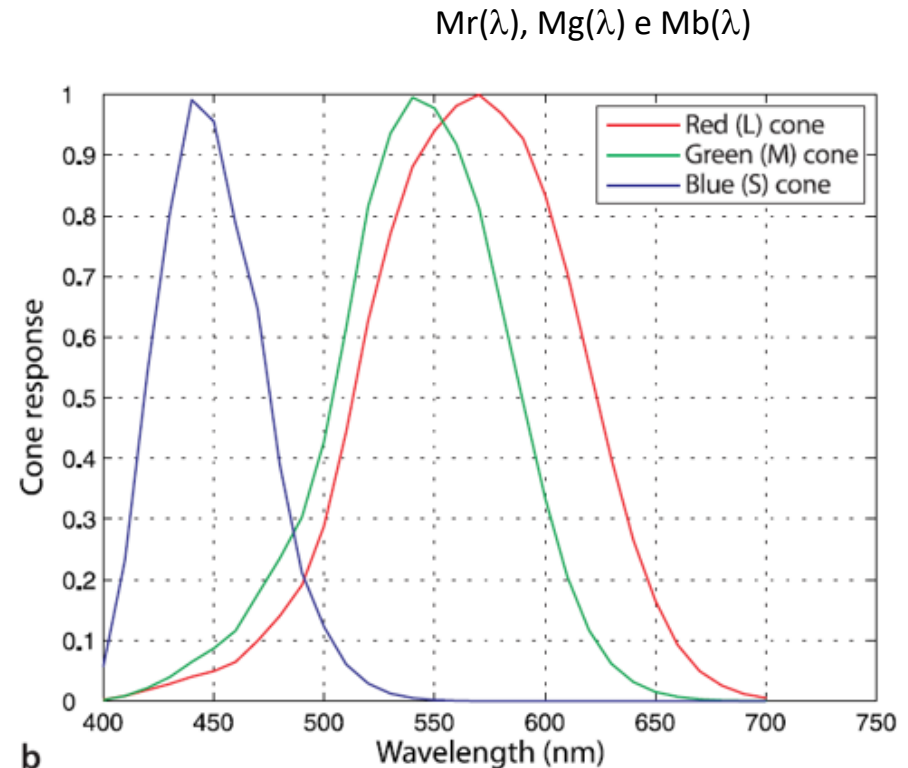
A luminância  $L(\lambda)$  de um objeto (luz refletida) é percebida pelos olhos humanos como uma resposta independente de cada um dos 3 tipos de cones

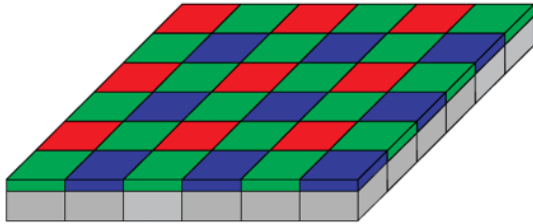
$$\rho = \int_{\lambda} L(\lambda) M_r(\lambda) d\lambda$$

$$\gamma = \int_{\lambda} L(\lambda) M_g(\lambda) d\lambda$$

$$\beta = \int_{\lambda} L(\lambda) M_b(\lambda) d\lambda$$

onde  $L(\lambda)$  é um impulso e  $M_r(\lambda)$ ,  $M_g(\lambda)$  e  $M_b(\lambda)$  são a resposta espectral do vermelho, verde e azul dos respectivos cones. O vetor de resposta  $(\rho, \gamma, \beta)$  é chamado tristimulus.

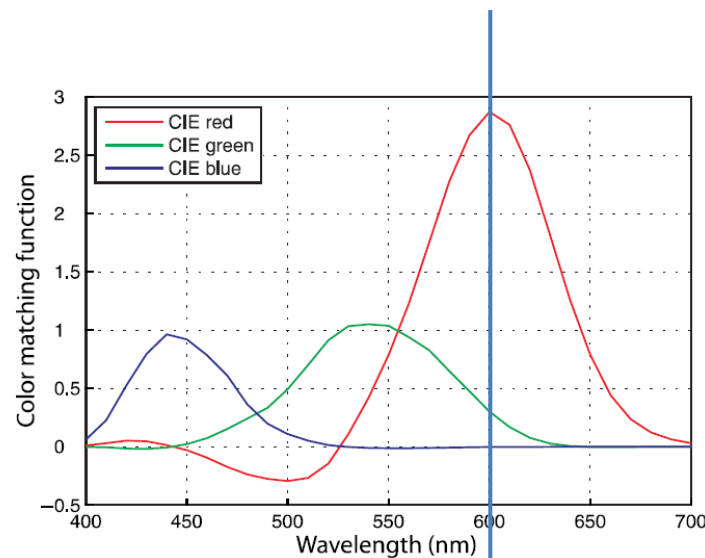




A construção de sensores que emulem o olho humano se dá através sensores de silício sensíveis à luz, sobre os quais são depositados matrizes de filtros de luz vermelha, verde e azul. A luz branca é filtrada para obter a cor em LCDs.

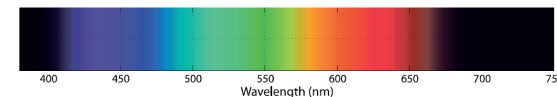
	red	green	blue
$\lambda$ (nm)	700.0	546.1	435.8

A CIE (Commission Internationale de L'Eclairage 1987) padronizou as cores primárias como as cores espectrais correspondentes à emissão em uma lâmpada de vapor de mercúrio.



Laranja = 600 nm

A CIE propôs uma função de combinação de cores (1931) para um observador padrão, baseado nas cores primárias.



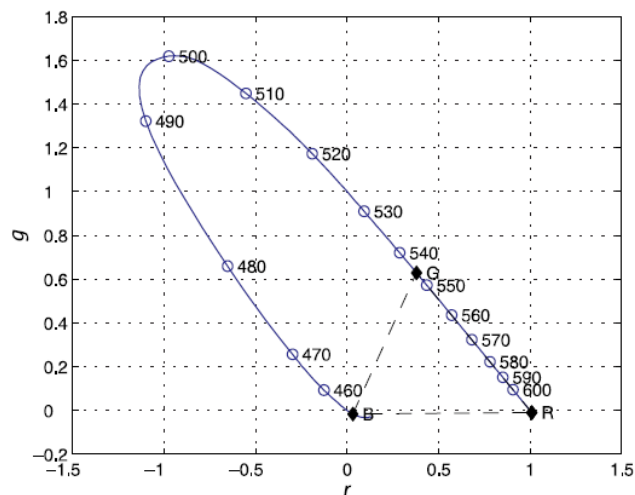
Quaisquer que sejam as cores primárias, qualquer cor pode ser obtida em uma combinação.

# Espaço de Cromaticidade

R, G, B = [0 a 1], intensidade normalizada

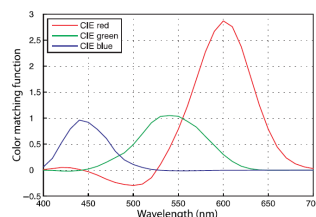
$$r = \frac{R}{R+G+B}, g = \frac{G}{R+G+B}, b = \frac{B}{R+G+B}$$

$$r + g + b = 1$$

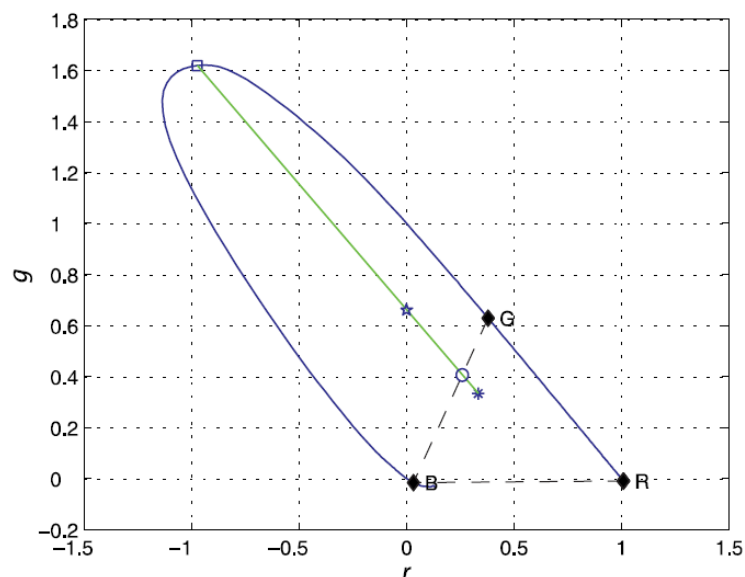


Os padrões de cores primárias estão marcados com losango preto. Os espectros de comprimento de ondas estão marcados.

Valores saturados, sem branco introduzido



Uma cor pode ter adição de branco e fica menos saturada.

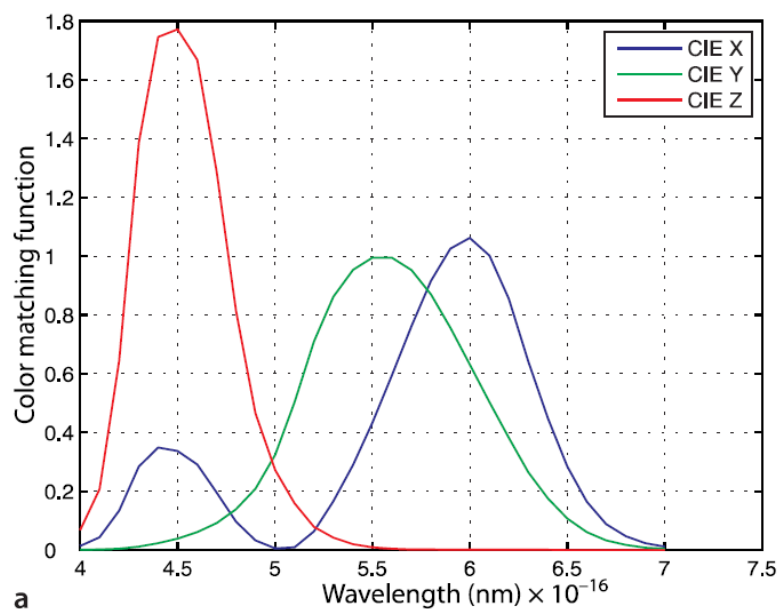
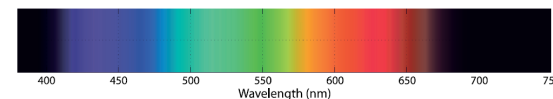


O Diagrama de Cromaticidade mostra o verde 500nm (quadrado), branco uniforme (asterisco), um verde possível (estrela) e um verde padrão (círculo). A linha verde mostra diferentes saturações de verde. O branco é  $r=0,33, g=0,33, b=0,33$

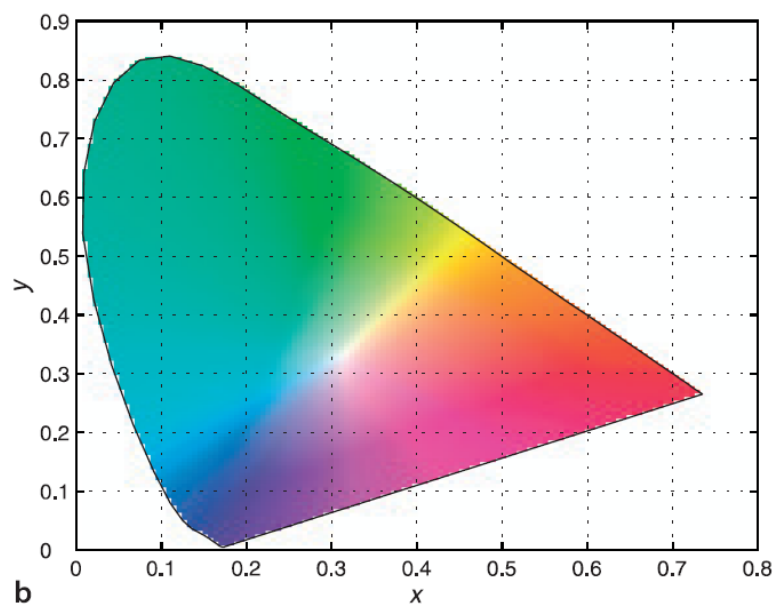
Outro tipo de coordenadas que ajusta algumas disparidades no RGB anterior (valores negativos, por exemplo) foi proposto pela CIE em 1931, denominadas *primárias não físicas imaginárias*. X e Z não têm luminância, que vem toda de Y.

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}, y = \frac{Y}{X+Y+Z}, z = \frac{Z}{X+Y+Z}$$

$$x + y + z = 1$$



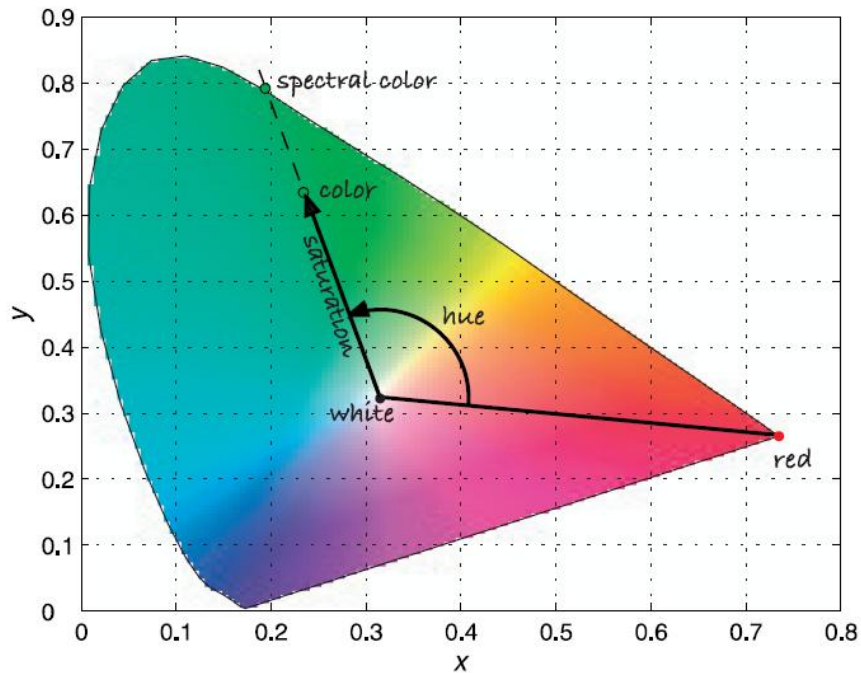
**a.** Função de combinação de cores em X, Y (intensidade) e Z



**b.** Cores no plano de cromaticidade x-y

## Outros Espaços de Cores

Existem outros espaços de cores alternativos. Dois dos mais conhecidos são o HSV (Hue, Saturation, Value) e o HSL (Hue, Saturation, Lightness)



**Hue (matiz), Saturation (saturação), Value/Lightness (brilho)**

Uma linha é estendida do ponto branco até o borda saturada. O ângulo da linha com a horizontal é Hue, e a Saturação é o comprimento do vetor normalizado do centro na direção da borda. Brilho é a intensidade.



## Representação de Imagens no espaço HSV



**a.** Imagem colorida original.



**b.** Imagem de intensidade com representação em tons de cinza da coordenada Hue (matiz), em que  $0^\circ$  é preto e  $240^\circ$  é violeta, até  $360^\circ$ .



**c.** Imagem de intensidade com representação de saturação, em que baixa saturação é escura e alta é clara.

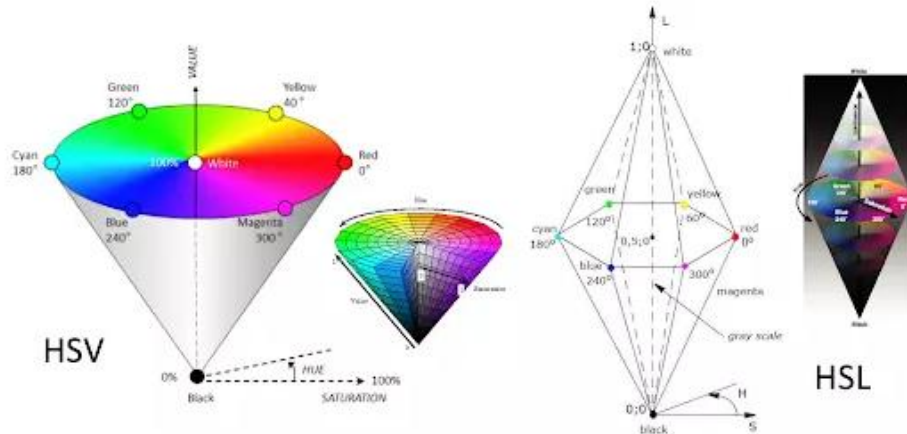
### Conversão entre padrões

	$R_{\text{CIE}}$	$G_{\text{CIE}}$	$B_{\text{CIE}}$	$R_{709}$	$G_{709}$	$B_{709}$	$D_{65}$	$E$
$x$	0.7347	0.2738	0.1666	0.640	0.300	0.150	0.3127	0.3333
$y$	0.2653	0.7174	0.0089	0.330	0.600	0.060	0.3290	0.3333
$z$	0.0000	0.0088	0.8245	0.030	0.100	0.790	0.3582	0.3333

Cromaticidade x-y-z das cores primárias (R, G, B) e branco. Diferentes padrões, em que CIE era para TVs antigas com tubos de fósforo, padrão ITU 709 para HDTVs. D65 é o branco de um radiador a 6500K e E é o branco uniforme.

## 1.3 HSV to Grayscale

HSV (hue, saturation, value) and HSL (hue, saturation, lightness or luminance) are transformations of a Cartesian RGB color space.



To convert HSV to grayscale, we first need to convert HSV to RGB and then convert the RGB triple to a grayscale value.

### HSV to RGB conversion

When  $0 \leq H < 360$ ,  $0 \leq S \leq 1$  and  $0 \leq V \leq 1$ :

$$C = V \times S$$

$X = C \times (1 - |(H / 60^\circ) \bmod 2 - 1|)$  mod 2 é função que retorna o resto da divisão por 2.

$$m = V - C$$

$$(R,G,B) = ((R'+m) \times 255, (G'+m) \times 255, (B'+m) \times 255)$$

### The Grayscale Value

$$\text{Grayscale} = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$

<https://www.dynamsoft.com/blog/insights/image-processing/image-processing-101-color-space-conversion/>

Em uma imagem digital colorida há 3 camadas correspondentes às 3 cores primárias. Para uso em Visão Computacional a cor só tem função como característica de cena para segmentação e reconhecimento de objetos. As outras características de imagens pode ser obtidas de imagens em tons de cinza.

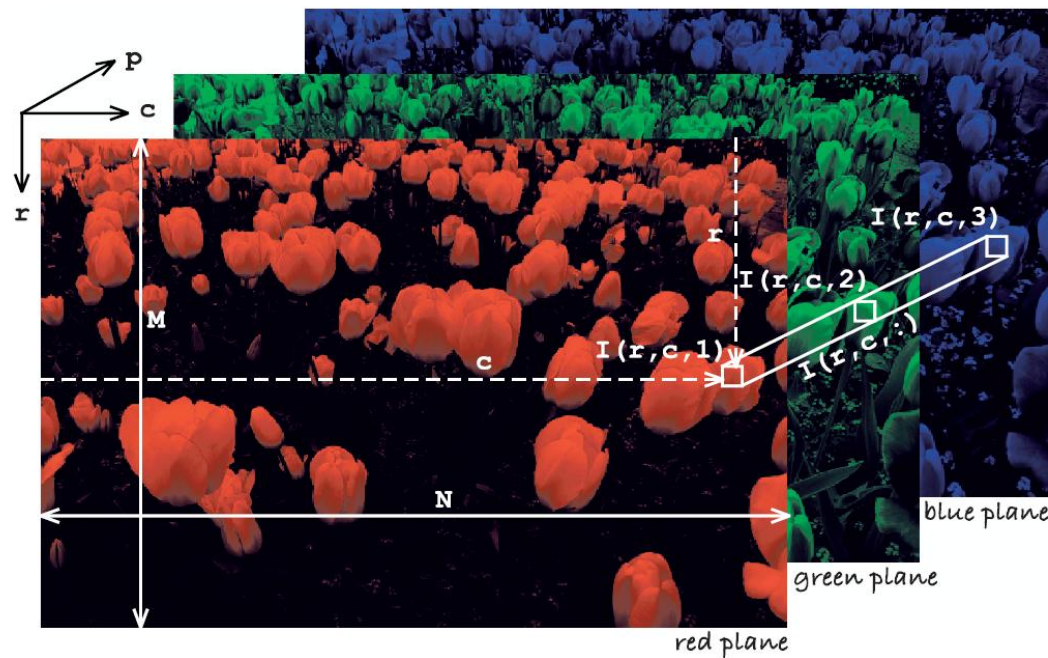
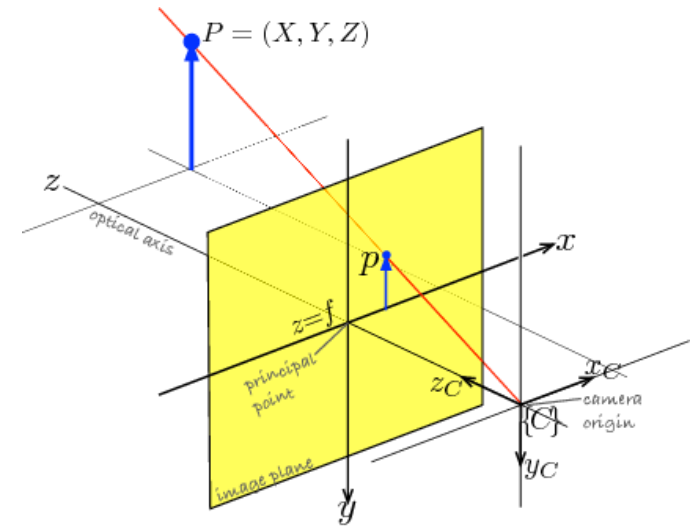
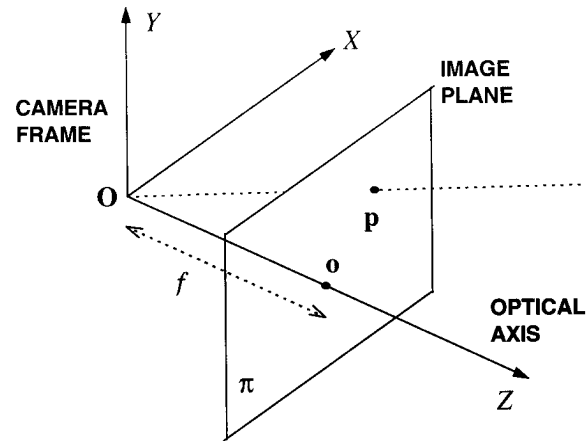


Imagem colorida mostrada como uma estrutura tridimensional: linha, coluna e plano da cor.

## ▪ FORMAÇÃO GEOMÉTRICA DE IMAGENS

### • A Câmera Perspectiva



Equações Fundamentais

$$\begin{cases} x = f \cdot \frac{X}{Z} \\ y = f \cdot \frac{Y}{Z} \end{cases}$$

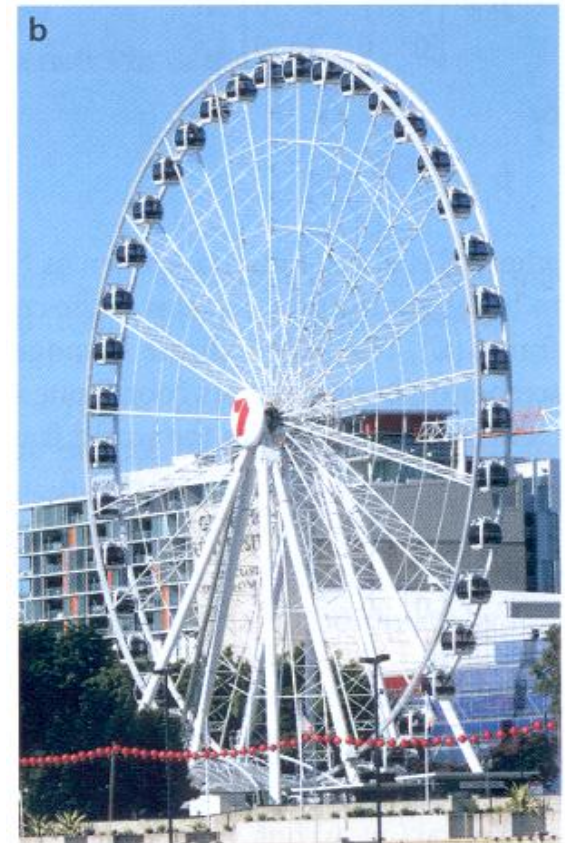
$$P = (X, Y, Z)^T$$

$$p = (x, y, f)^T$$

- As equações não são lineares em Z (k/Z)



- Não se preservam distâncias entre pontos, ou ângulos entre linhas
- Mapeiam linhas em linhas
- Linhas paralelas não permanecem paralelas, com exceção de planos da cena paralelos ao plano da imagem



- A Câmera Perspectiva Fraca

$$\begin{aligned} x &= f \cdot \frac{X}{Z} \cong \frac{f}{\bar{Z}} \cdot X \\ y &= f \cdot \frac{Y}{Z} \cong \frac{f}{\bar{Z}} \cdot Y \end{aligned}$$

$$\bar{Z} \gg \delta z \quad \text{ou} \quad \bar{Z} > 20 \cdot \delta z$$

$\bar{Z}$  = distância média

$\delta z$  = distância em z entre 2 pontos na cena (prof. cena)

As equações acima podem ser entendidas como uma projeção

ortográfica com  $(f \rightarrow \infty \text{ e } Z \rightarrow \infty \Rightarrow \frac{f}{Z} = 1)$  e

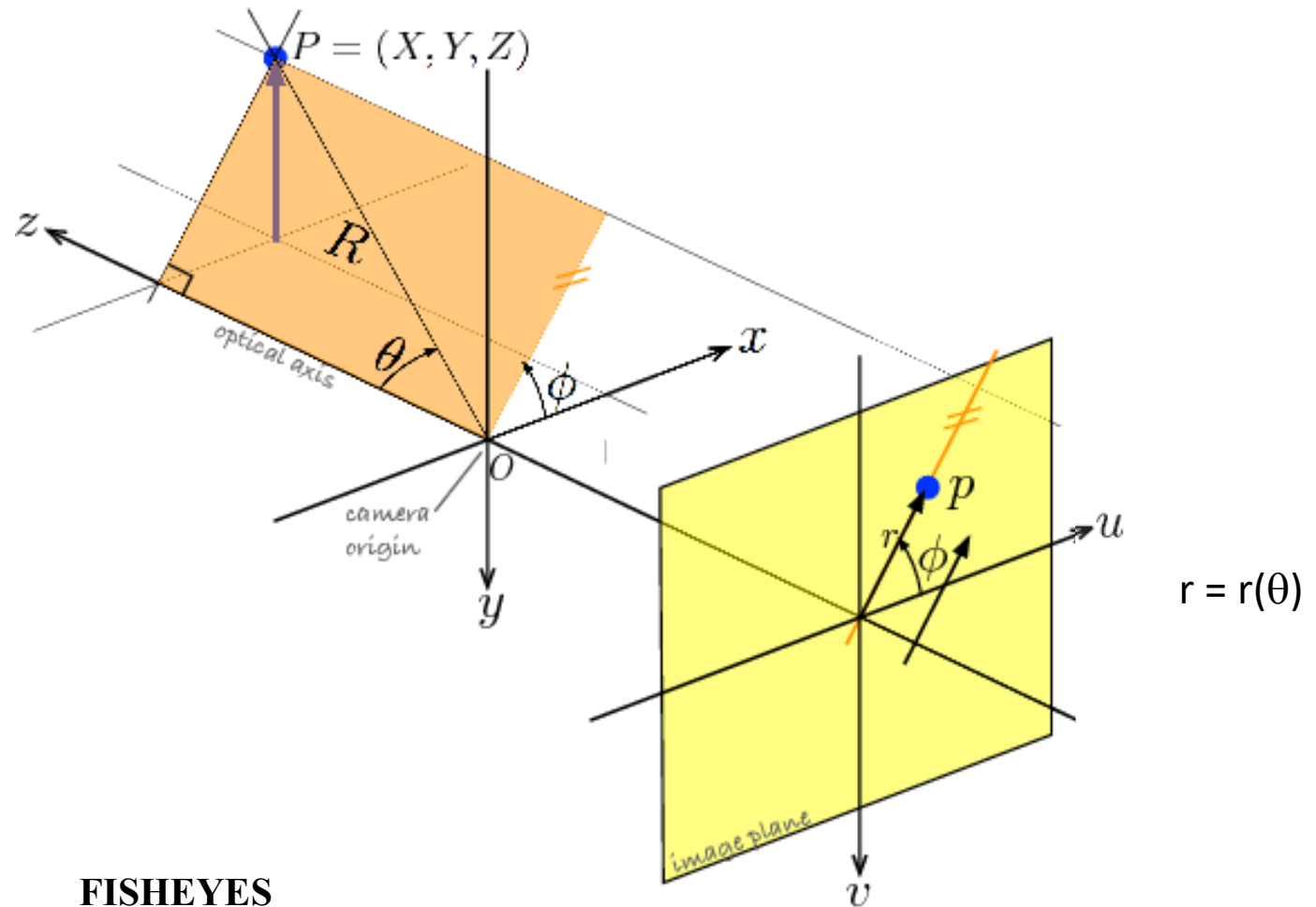
$$x = X$$

$$y = Y$$

Linhas paralelas convergem  
menos ou não convergem em  
comparação com a perspectiva  
completa

seguidas de escalonamento isotrópico pelo fator  $\frac{f}{\bar{Z}}$

- Outros Modelos de Câmera Não-Perspectiva

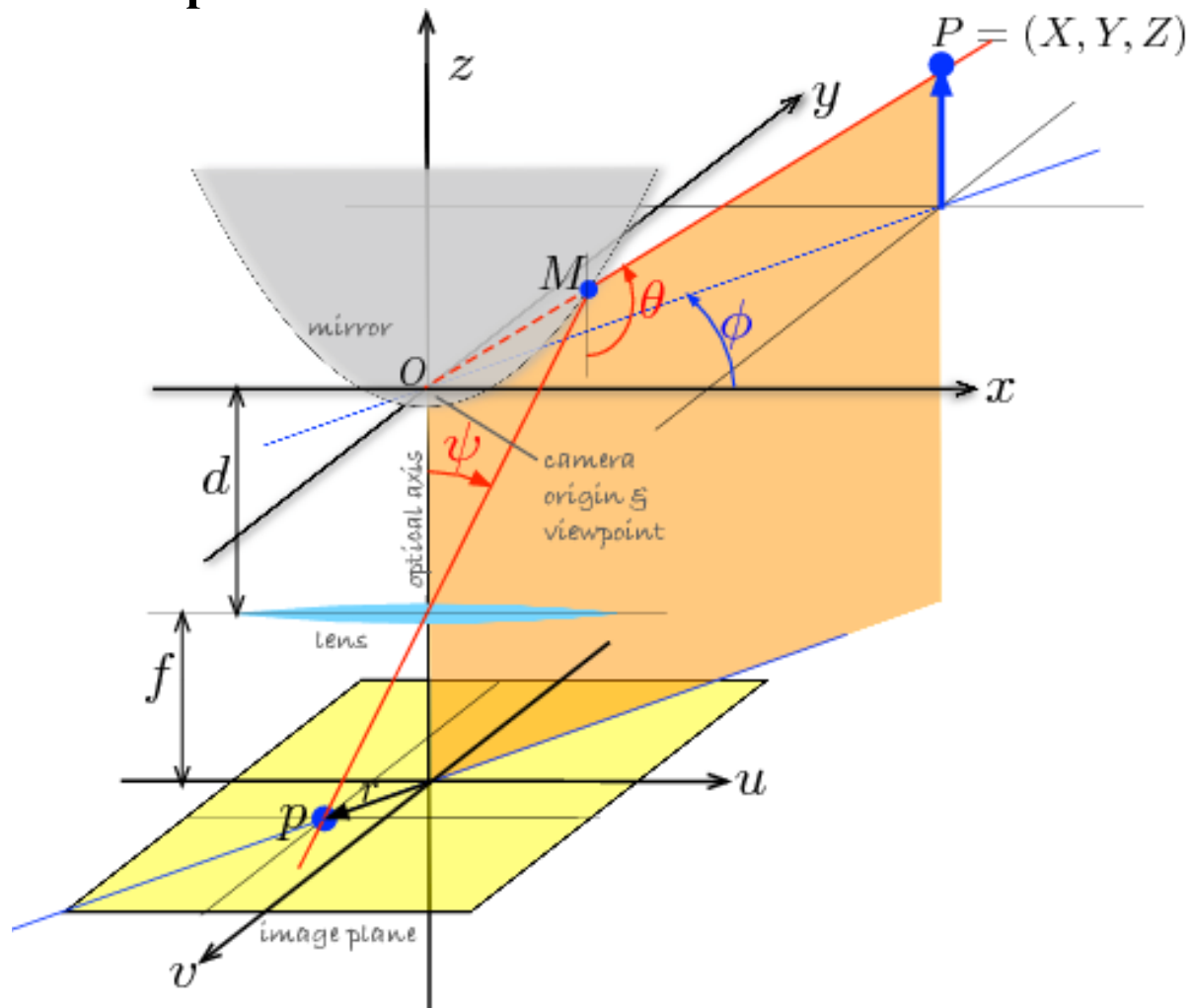




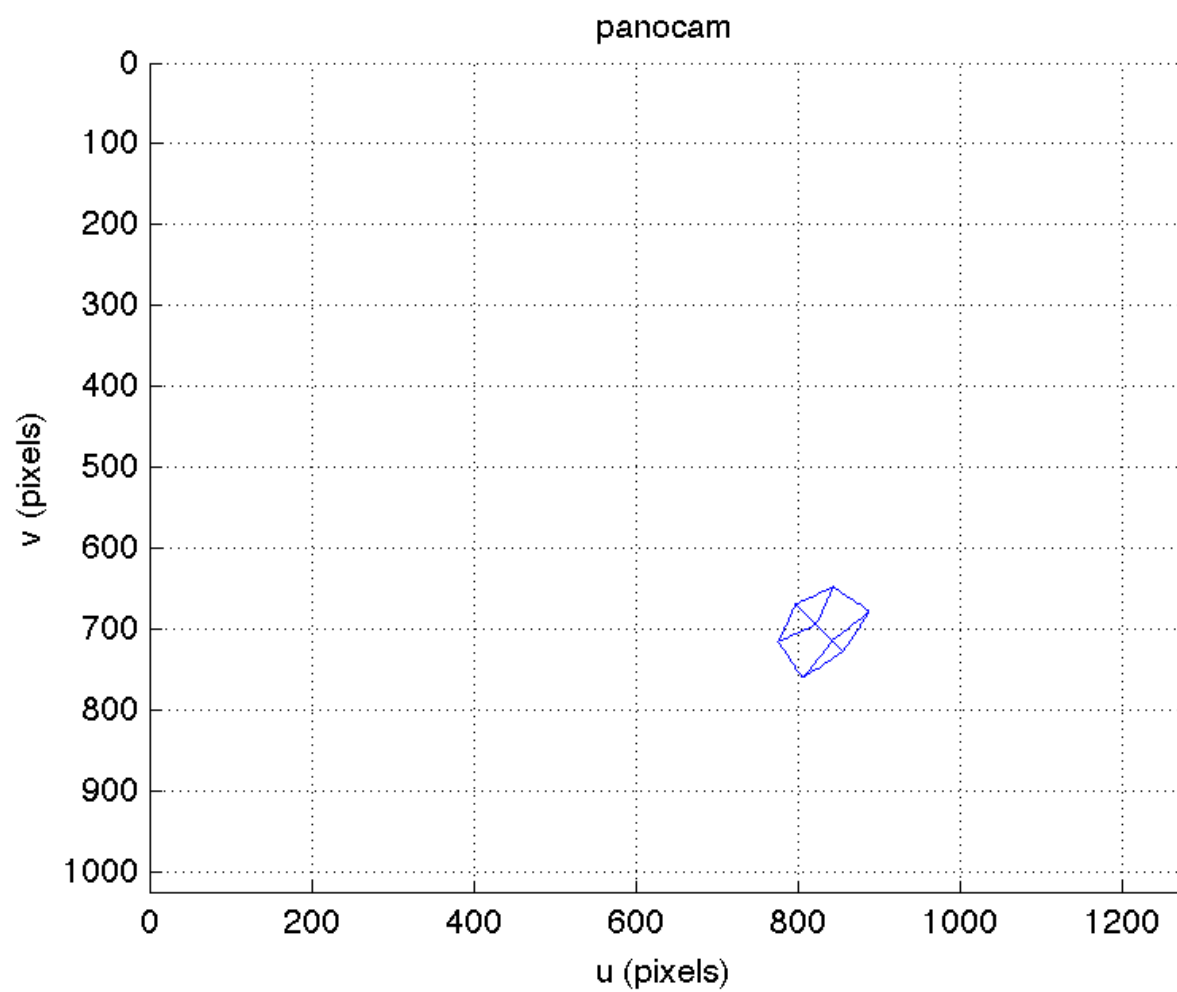
# Imagem de um cubo



# Catadióptrico

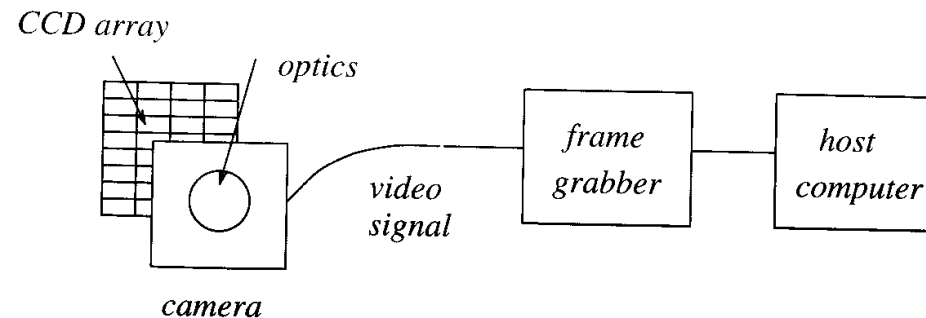


# Imagem de um cubo

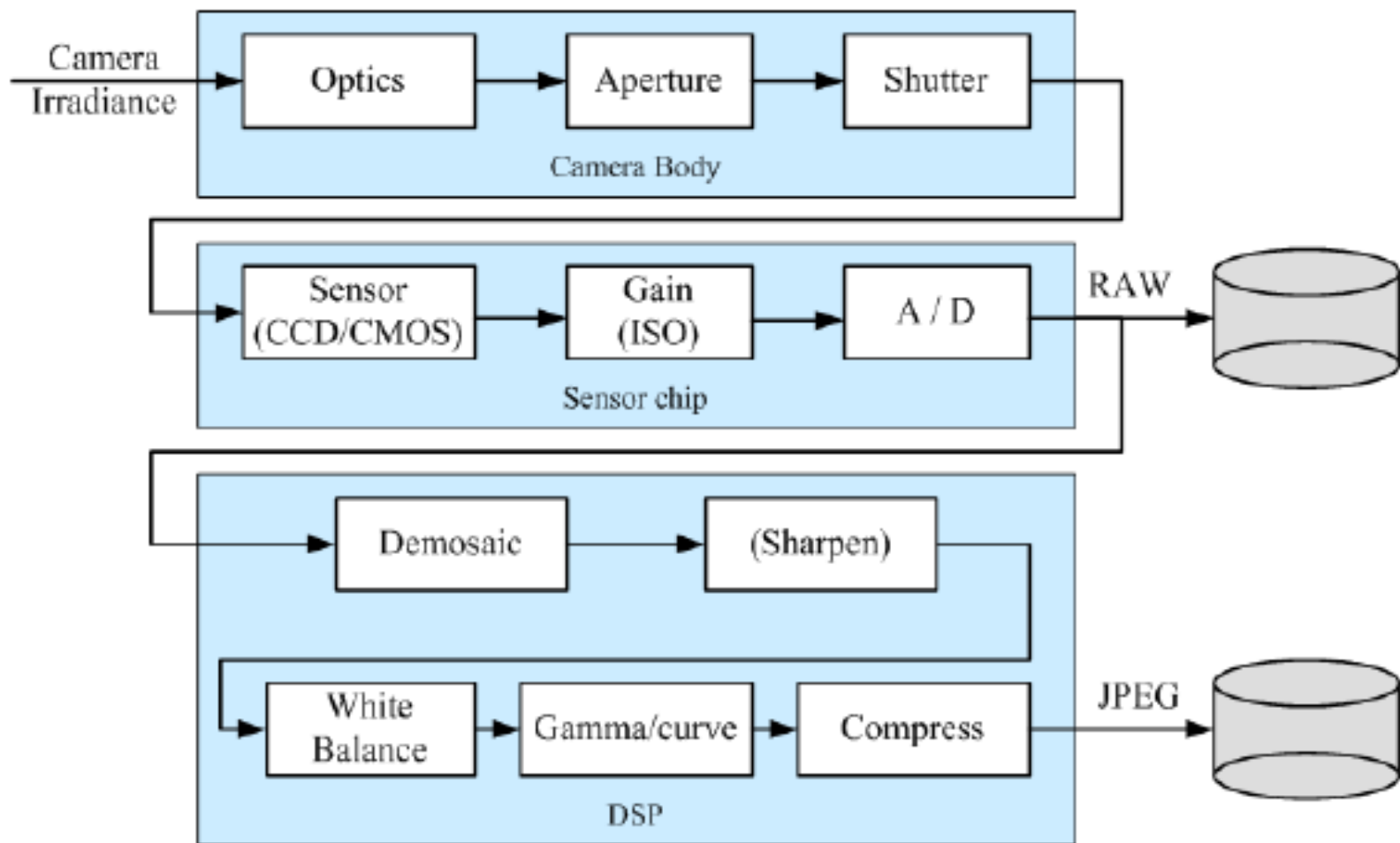


# AQUISIÇÃO DE IMAGENS DIGITAIS

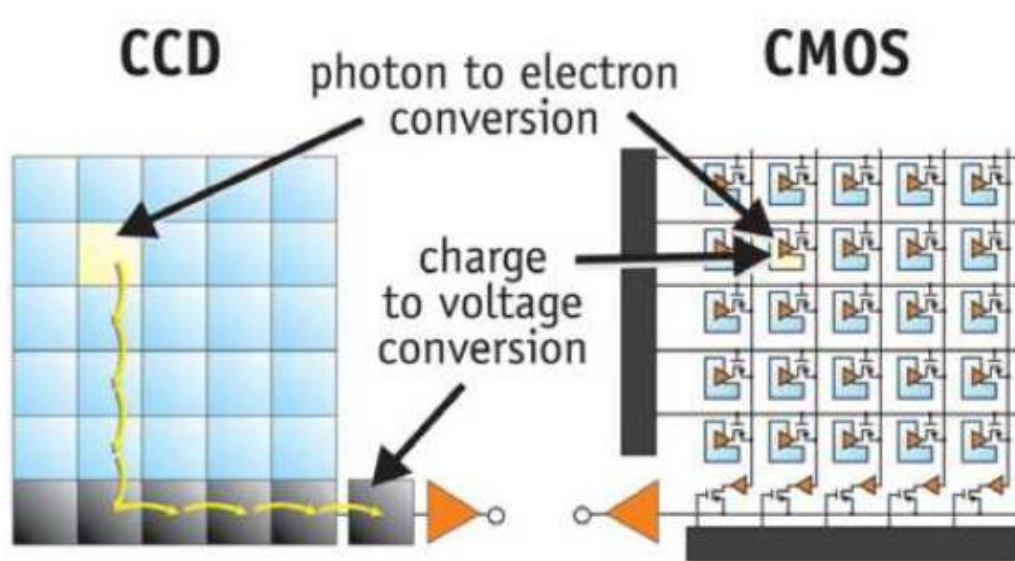
- Estrutura de um Sistema de Aquisição de Imagens Típico
- Representação de Imagens Digitais em um Computador
- Informações Práticas em Amostragem Espacial e Ruídos em Câmeras
- Sistema Básico



Componentes de um sistema de aquisição



Sensoreamento de uma imagem, com suas várias fontes de ruído e passos de pós-processamento digital



(a)

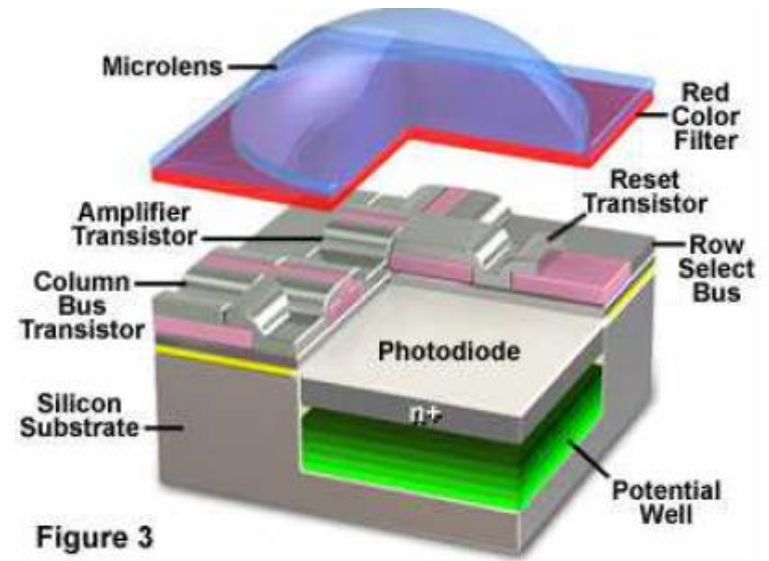


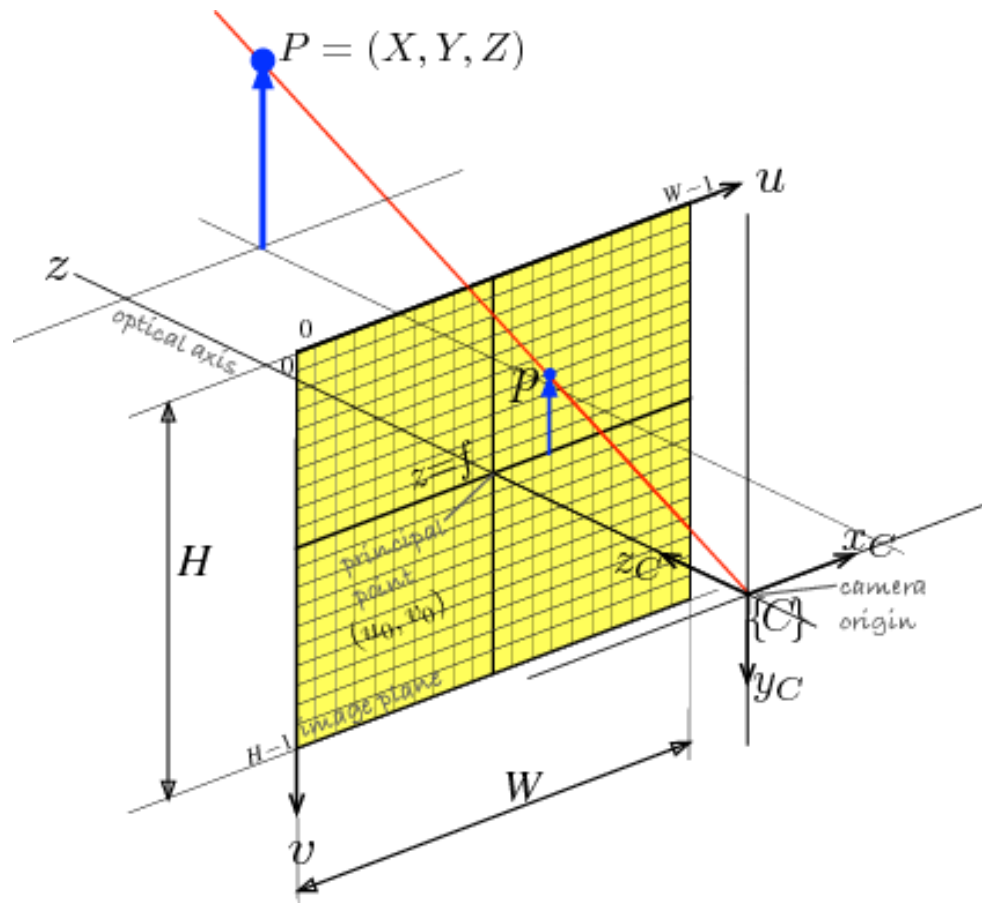
Figure 3

(b)

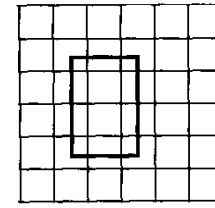
Sensores de imagem digital: (a) CCDs movem a carga fotogerada de pixel a pixel e a convertem em tensão no nó de saída; Os geradores de imagens CMOS convertem carga em tensão dentro de cada pixel (Litwiller 2005) © 2005 Photonics Spectra; (b) diagrama em corte de um sensor de pixel CMOS, de <https://micro.magnet.fsu.edu/primer/digitalimaging/cmosimagesensors.html>.

## Representação de Imagens Digitais

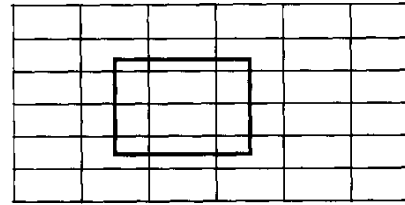
- Matriz Numérica  $E$ , com  $H$  linhas,  $W$  colunas
- $E(i,j) \rightarrow$  intensidade de pixel  $[0,255]$  (8 bits)
- Imagens coloridas  $\rightarrow$  3 componentes monocromáticas (RGB)



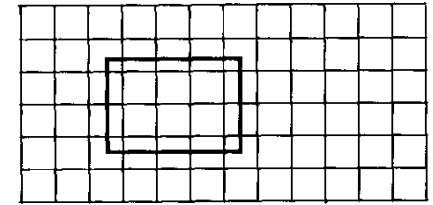
- (a) Imagem que sofre distorção com:
- (b) um grid retangular de  $n \times n$  elementos de razão dimensional  $n/m$
- (c) um grid quadrado de  $m \times n$  elementos.



(a)



(b)



(c)

## Representação de Imagens Digitais

$$\begin{aligned} x_{im} &= \frac{n}{N} \cdot x_{CCD} \\ y_{im} &= \frac{m}{M} \cdot y_{CCD} \end{aligned}$$

$N, M$  = no. elementos do CCD

$n, m$  = no. píxeis na imagem

$x_{im}, y_{im}$  = coordenadas em píxeis

$x_{CCD}, y_{CCD}$  = coordenadas em no. de elementos no CCD

$n/N$  e  $m/M$  -> diferença de escala nas coordenadas

$n/m$  -> produz distorção da imagem (cels do CCD de formas diferentes da tela)

Assume-se que existe uma relação entre os elementos do CCD e os pixeis de imagens, e introduzem-se fatores de tamanho vertical e horizontal.



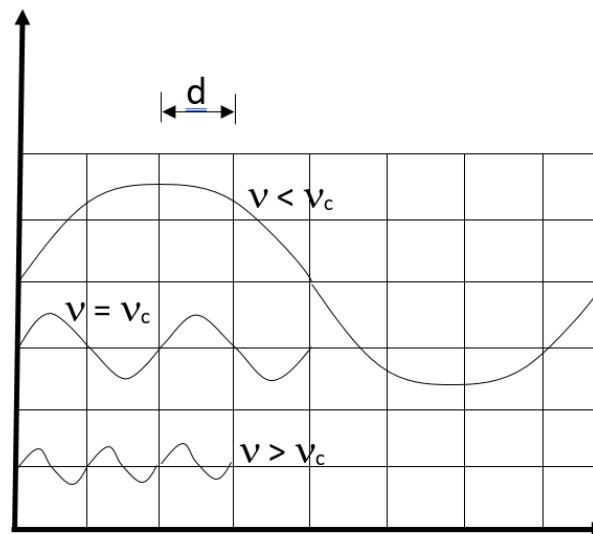
- Amostragem Espacial

Pelo Teorema da Amostragem

$$v_c = \frac{1}{2.d}$$

$v_c$  = maior frequência espacial que pode ser capturada pelo sistema

$d$  = distância entre elementos adjacente no CCD



- Aquisição de Ruído e sua Estimativa
  - Estimativa de Ruídos

### ALGORITMO EST\_NOISE

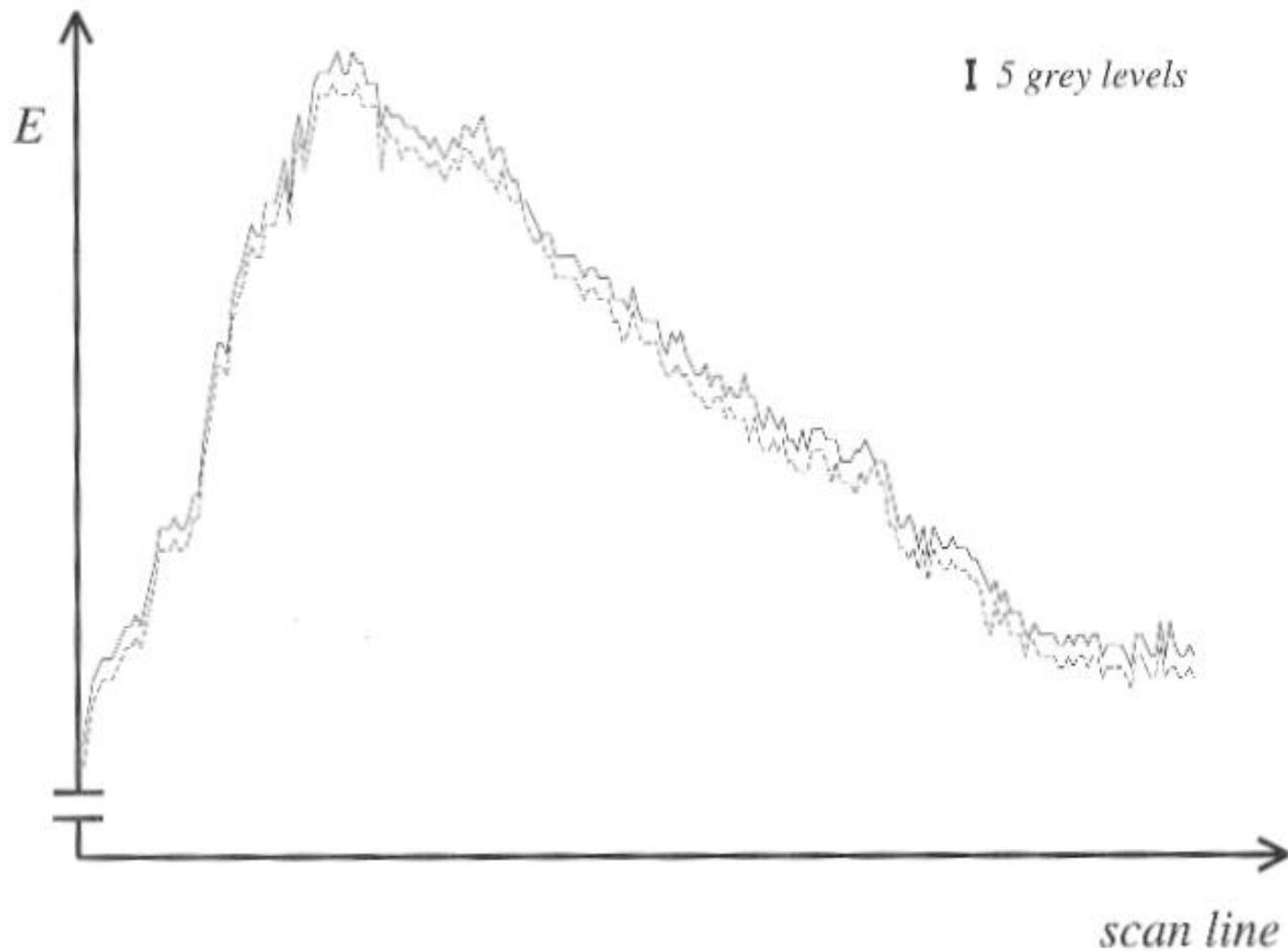
- 
- n imagens da mesma cena ,  $E_0, E_1, \dots, E_{n-1}$
  - imagem em  $N \times N$  píxeis

Para  $i, j = 0, \dots, N-1$

$$\overline{E(i, j)} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{k=0}^{n-1} E_k(i, j)$$

$$\sigma(i, j) = \left( \frac{1}{n-1} \sum_{k=0}^{n-1} (\overline{E(i, j)} - E_k(i, j))^2 \right)^{1/2} \quad \text{p/cada pixel}$$

$$\overline{\sigma} = \frac{1}{N \times N} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} \sigma(i, j) \quad \text{média do Desv. Pad. p/ toda a imagem}$$



Estimativa de aquisição de ruído. Curva do brilho médio de uma imagem ao longo de uma mesma linha horizontal na imagem, mais ou menos o desvio padrão estimado.

- Dependência entre píxeis
  - Calcula-se a autocovariância de uma imagem padrão uniforme e iluminada por luz difusa

Imagem de  $N \times N$  píxeis.

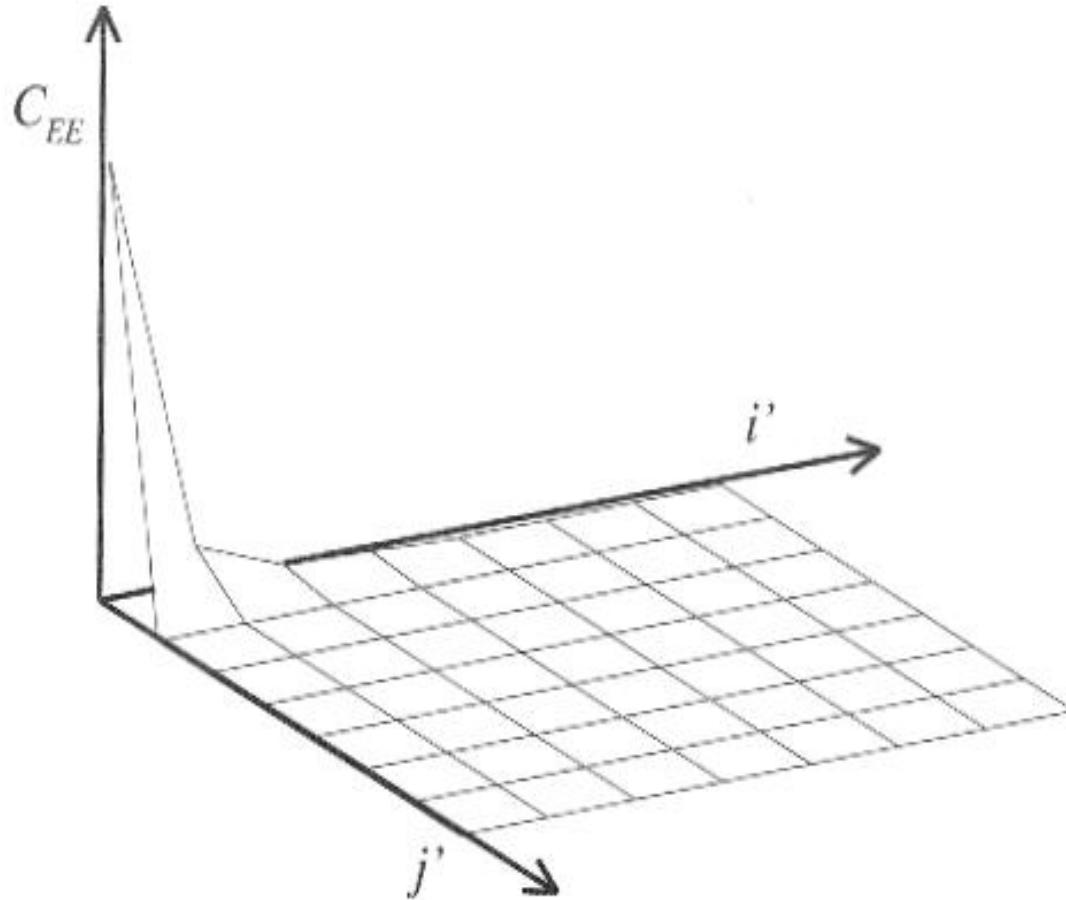
### ALGORITMO AUTO\_COVARIANCE

---

$$c = \frac{1}{N^2}, N_{i'} = N - i' - 1, \text{ e } N_{j'} = N - j' - 1$$

p/ cada  $i', j' = 0, \dots, N - 1$

$$C_{EE}(i', j') = c \cdot \sum_{i=0}^{N_{i'}} \sum_{j=0}^{N_{j'}} \left( E(i, j) - \overline{E(i, j)} \right) \left( E(i + i', j + j') - \overline{E(i + i', j + j')} \right)$$



Autocovariância de uma imagem de um grid uniforme para um sistema típico de aquisição, mostrando a interrelação entre pixels adjacentes ao longo de  $i'$ .