

Visão Computacional

Aula 03

Câmeras

Computer Vision - A Modern Approach
Set: Introduction to Vision
Slides by D.A. Forsyth
Adapted by Flávio Vidal

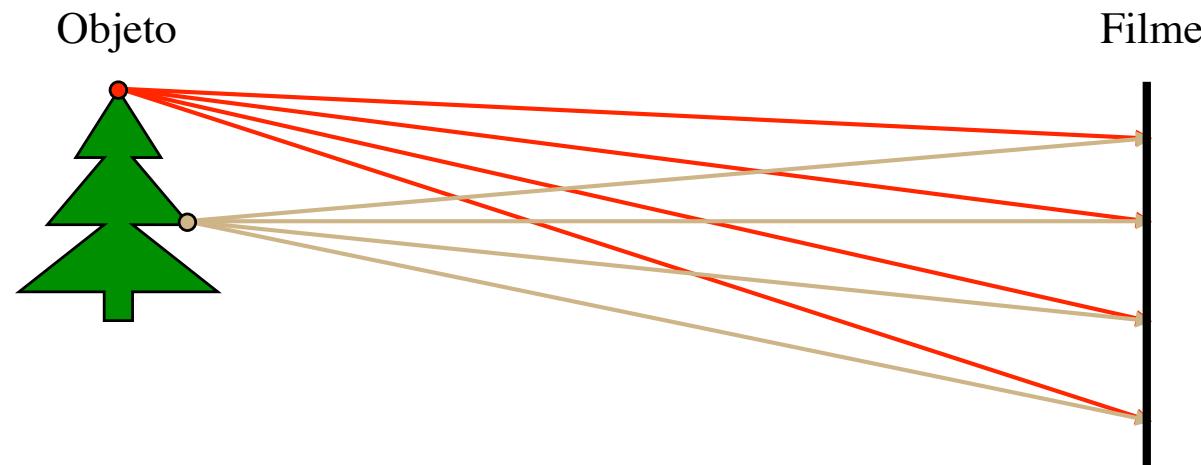
Câmeras

- Primeira “fotografia” foi realizada por Niepce
- Primeiro registro mostrado em um livro foi 1822
- Desenvolveu a abstração básica de uma câmera pinhole:
 - Lentes são necessárias para que a imagem não fique muito escura e “embaralhada”;
 - Várias outras abstrações podem ser aplicadas;



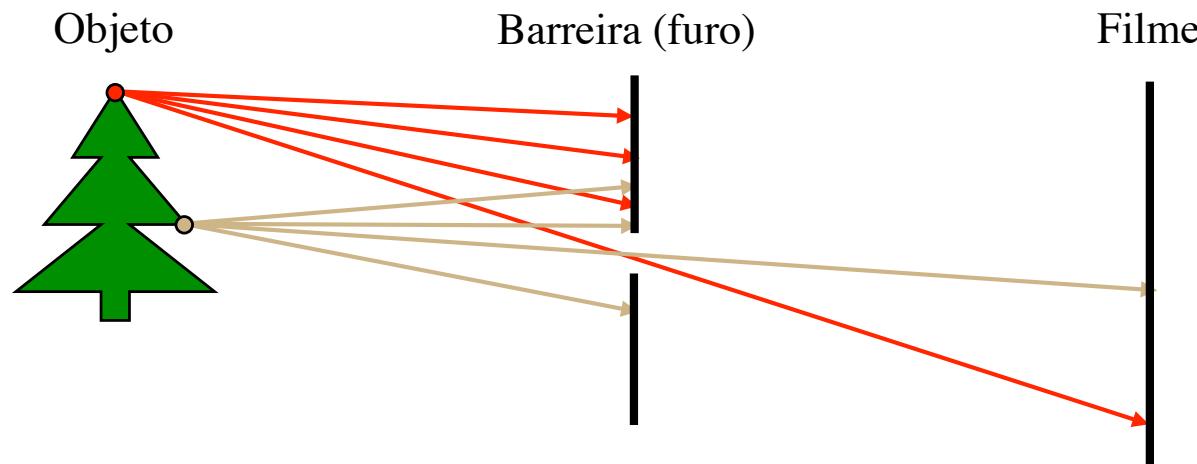


Formação da imagem



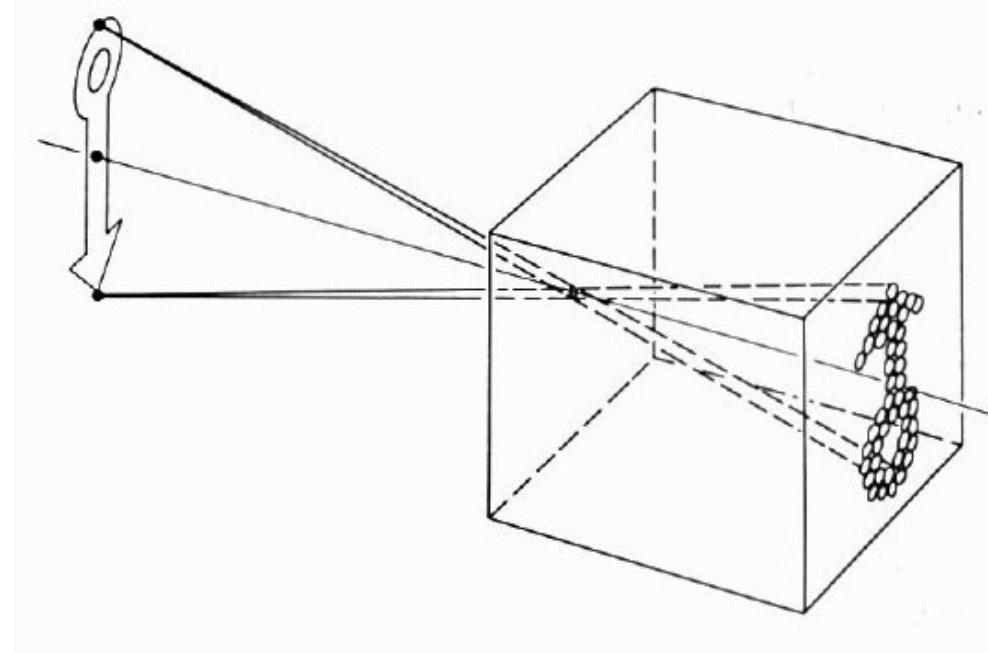
- Projeto básico de uma câmera
 - Ideia 1: colocar um fragmento de filme na frente do objeto
 - A imagem ficaria com boa qualidade?

Camera Pinhole



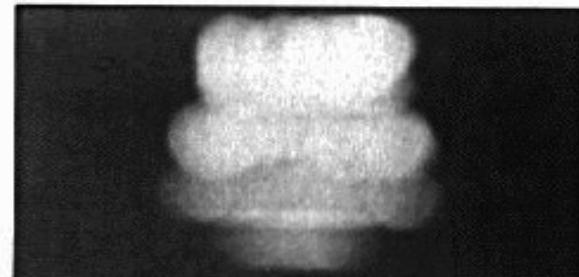
- Adicionar uma barreira para bloquear a maioria dos raios de luz para reduzir o “borramento” (*blurring*)
 - Conhecido como “abertura” (*aperture*)
 - Como isso forma uma imagem?

Camera “Obscura”



- A primeira câmera
 - Como o tamanho da abertura afeta a formação da imagem?

Reduzindo a abertura...



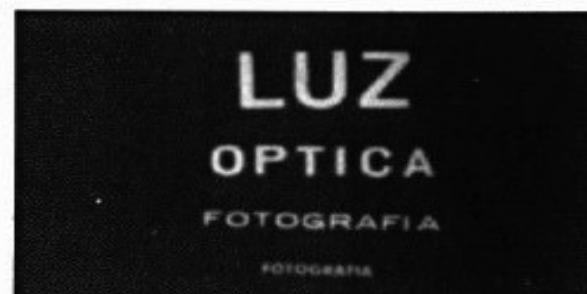
2 mm



1 mm



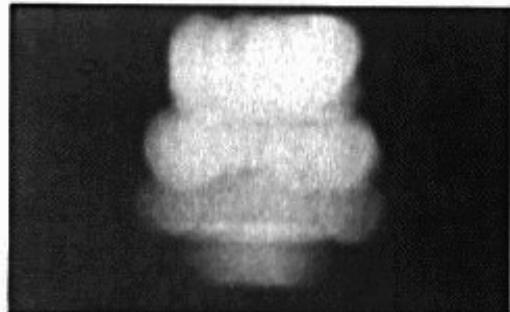
0.6mm



0.35 mm

- Por quê não utilizar a menor “abertura” possível? the aperture as small as possible?
 - Menor incidência de luz
 - *Efeito de Difração*

Reduzindo a abertura...



2 mm



1 mm



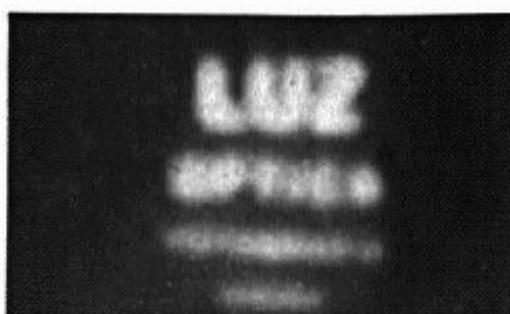
0.6mm



0.35 mm

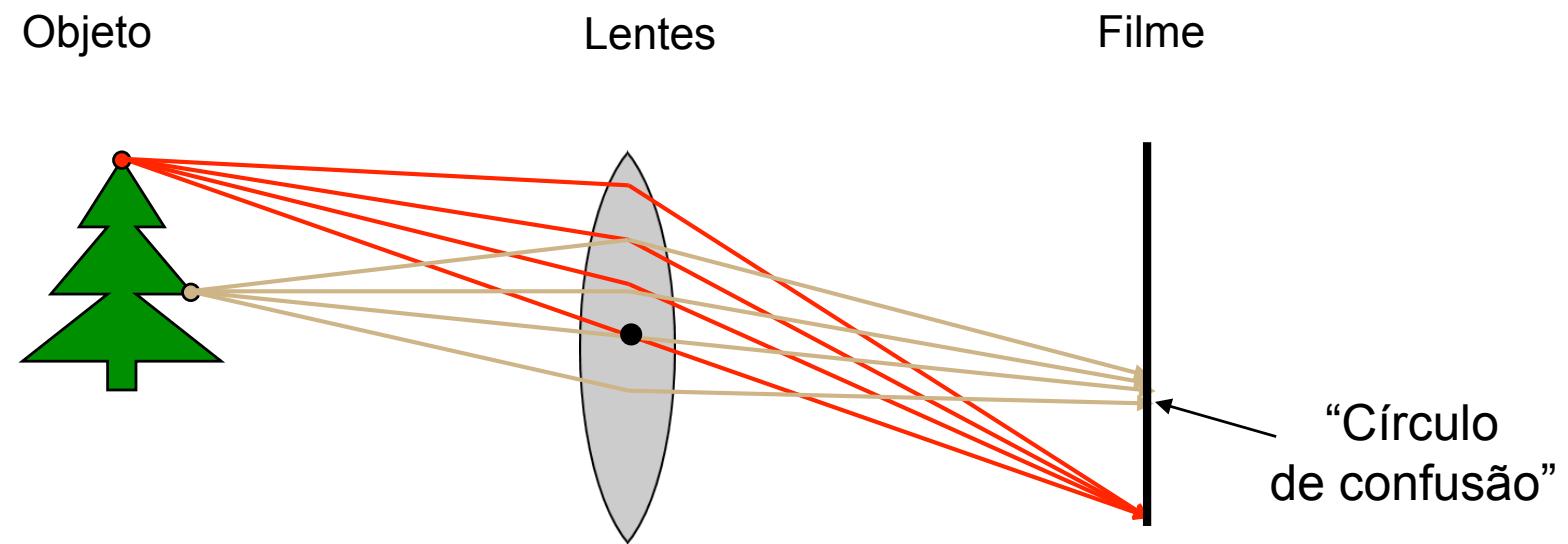


0.15 mm



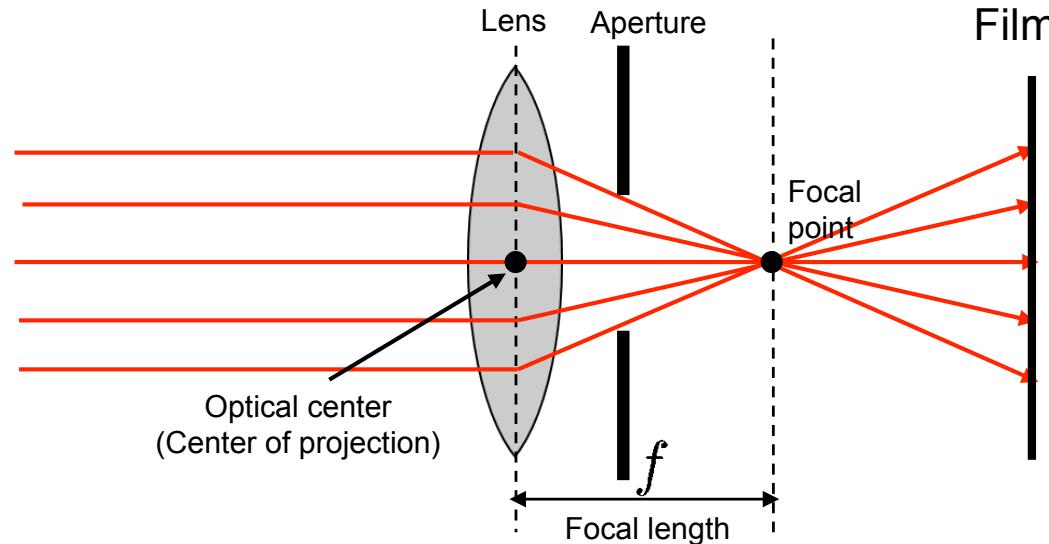
0.07 mm

Adicionando lentes



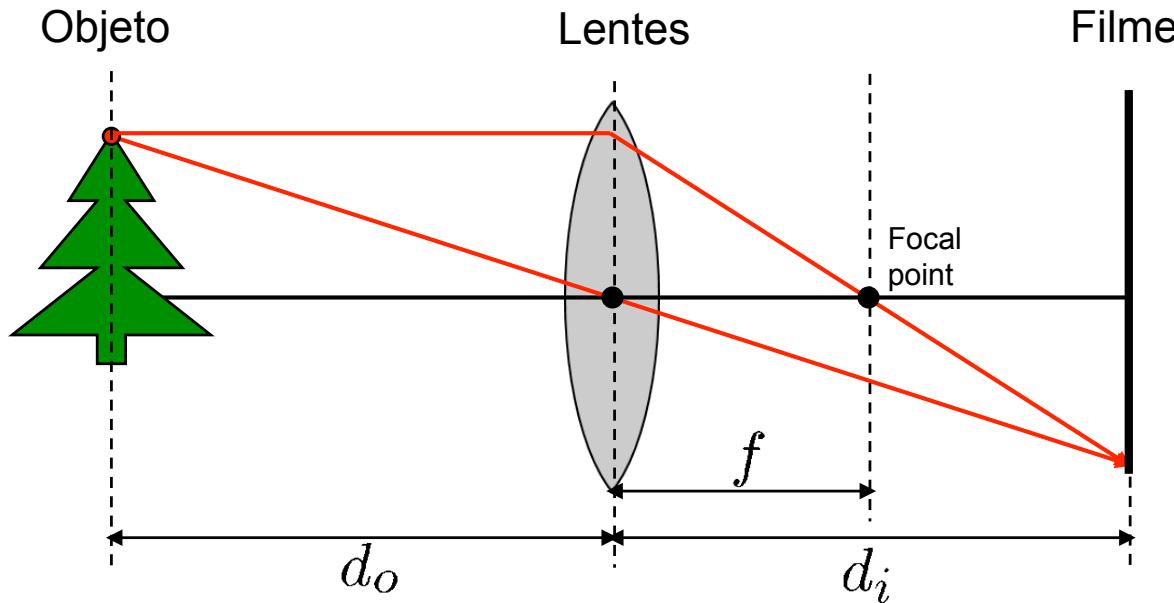
- A lente focaliza luz no filme
 - Existe uma distância específica no qual os objetos “ficam no foco”.
 - Outros pontos projetos em um “círculo de confusão” na imagem
 - Mudando a forma da lente, muda-se a distância específica do foco.

Lentes



- Uma lente focaliza raios paralelos em um simples ponto focal (focal point)
 - focal point é a distância f além do plano das lentes
 - f varia com a forma e índice de refração da lente.
 - A abertura de diâmetro D restringe a quantidade de raios de luz
 - Abertura pode ser em qualquer dos lados da lente
 - As lentes são geralmente esféricas (fácil produção)

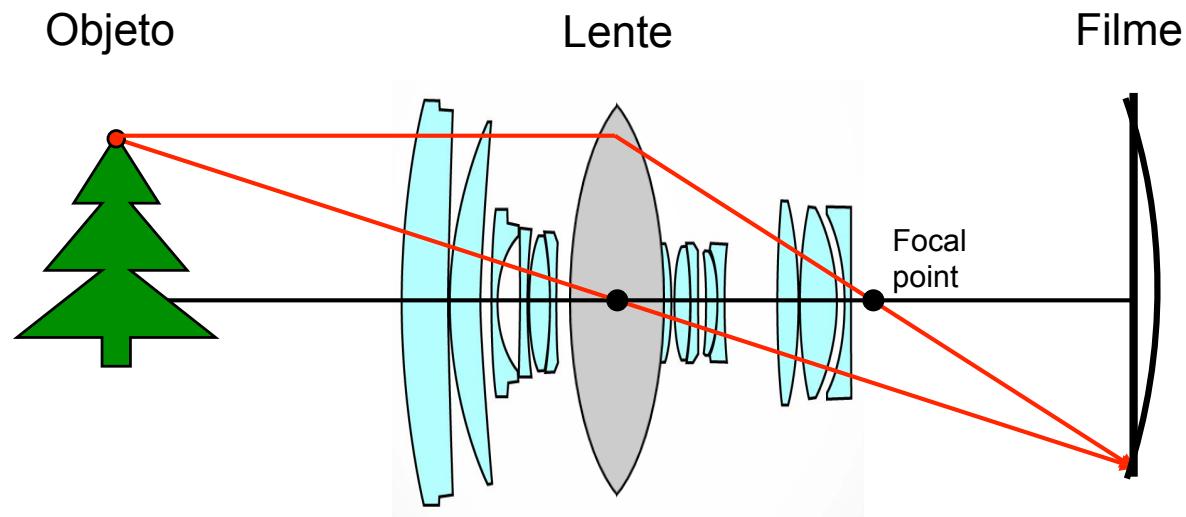
Lentes de Bordas finas



- Equações para lentes finas: $\frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{f}$ Quase certa...
- Todo objeto para satisfazer a equação está posicionado no foco
- Qual é a forma da região de foco?
- Como mudar a região de foco?

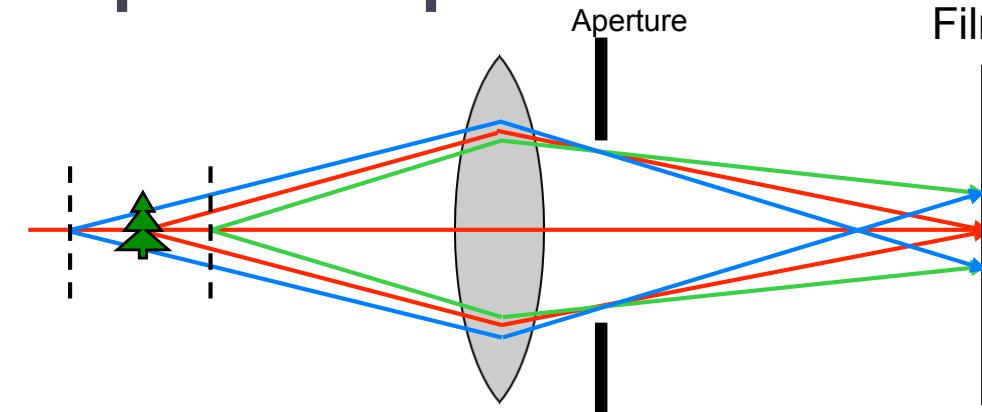
Pressupõe-se que lentes finas...

Assume-se que lentes finas não possuem espessura, o que não é verdade...

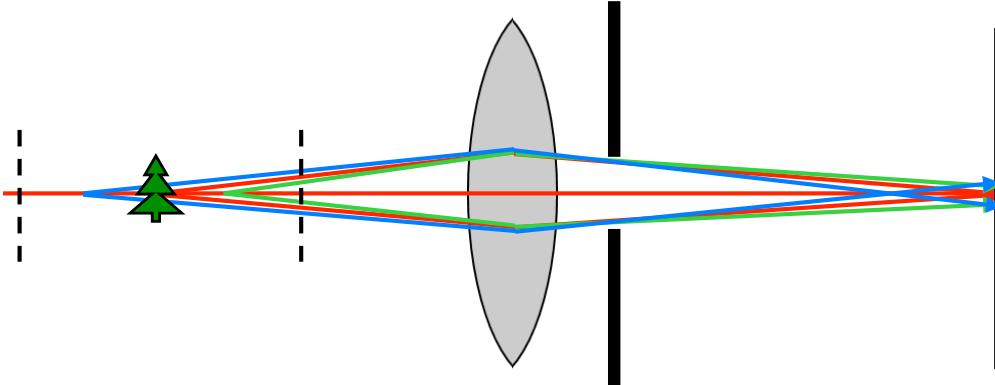


Adicionando mais elementos às lentes, a distância até a cena em foco pode ser aproximadamente planar

Campo de profundidade...



$f/5.6$



$f/32$

- Mudando o tamanho da abertura, afeta o campo de profundidade
 - Um abertura pequena aumenta a “faixa” na qual o objeto está aproximadamente no focus.

Parâmetros das Câmera

- Foco – desloca a profundidade do que está no foco.
- Distância Focal (*Focal length*) – Ajusta o zoom, ângulo de abertura.
- Abertura (*Aperture*) – Ajusta o campo de profundidade e a quantidade de luz exposta no filme.
- Tempo de Exposição (*Exposure time*) – Quanto tempo que shutter fica “aberto” expondo a imagem. Mais tempo de exposição -> mais luz, podendo causar borramento (bluring).
- ISO – Ajuste da sensibilidade do filme. Aumentando a ISO, aumenta-se o ruído. Nas câmeras digitais funciona como uma função de “ganho”.

Causes of noise

- Shot noise – variation in the number of photons (low light situations.)
- Readout noise – Noise added upon readout of pixel. In some cases can be subtracted out.
- Dark noise – Noise caused by electrons thermally generated. Depends on the temperature of device.

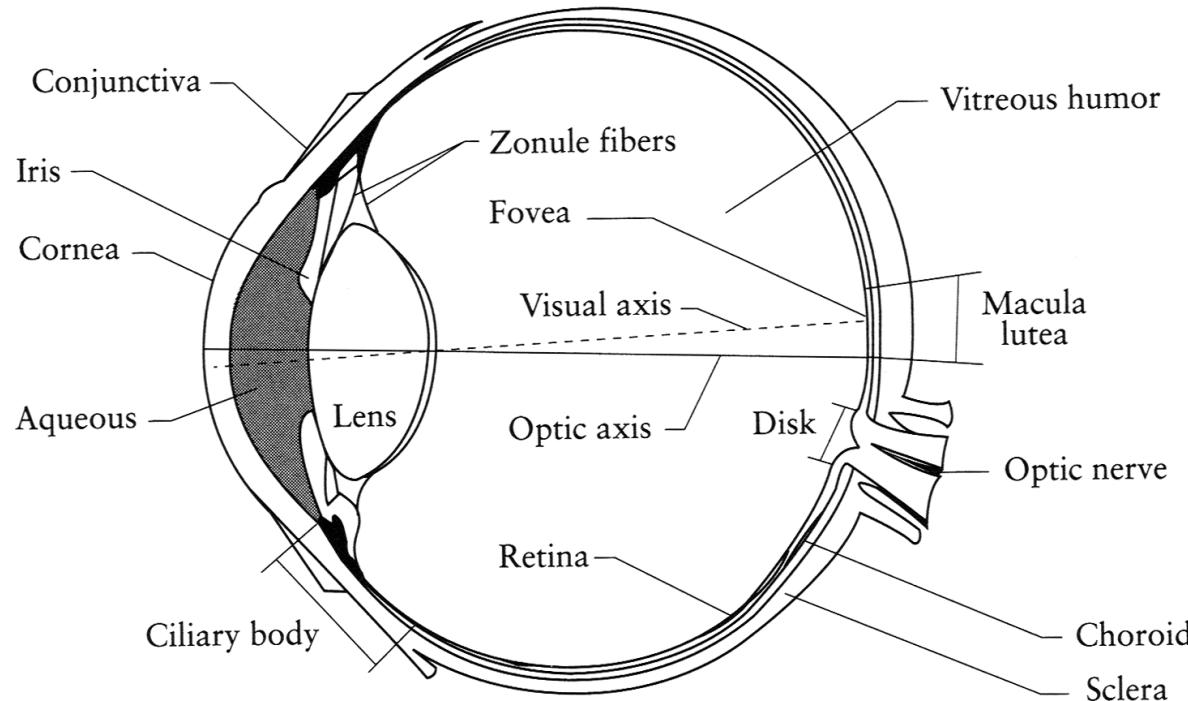
Então...

- Para quê “estas lentes gigantes”?



[Dirkus Maximus](#)

O Olho humano...



- Pode ser considerado uma câmera
 - Conjunto Iris e pupila – estilo pinhole, controlado pela iris.
 - E o filme?
 - Células fotoreceptoras (cones e bastonetes) na retina.

Câmeras Digitais



CCD

vs.

CMOS

- Menor ruído nas imagens
- Consome mais energia
- Mais pixels com melhor qualidade

- Mais ruído
- Menor consumo de energia
- Popularizou nos celulares

<http://electronics.howstuffworks.com/digital-camera.htm>

Mega-pixels

-

Anatomy of a Charge Coupled Device (CCD)

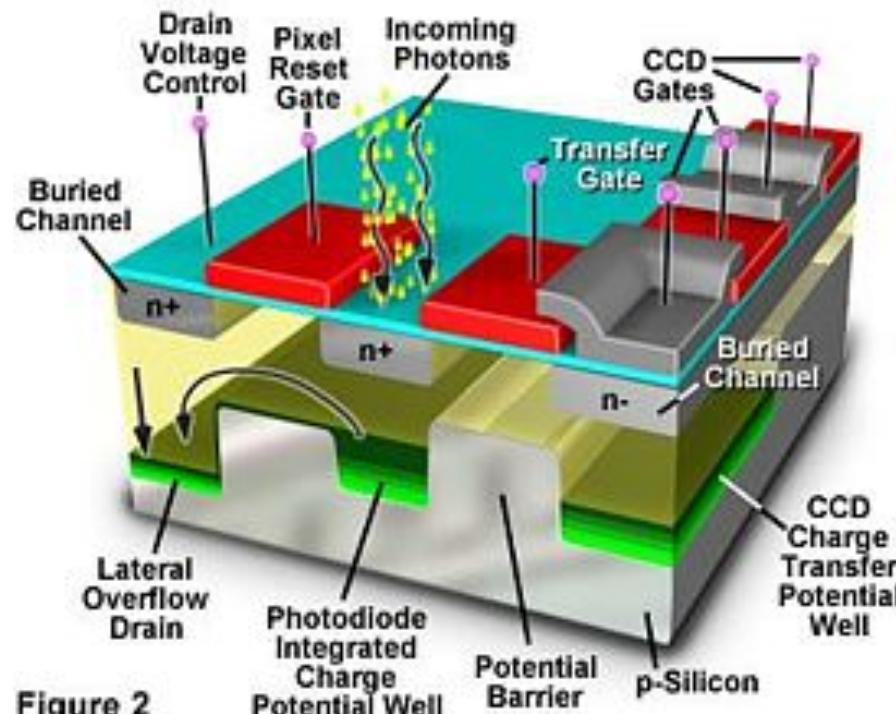
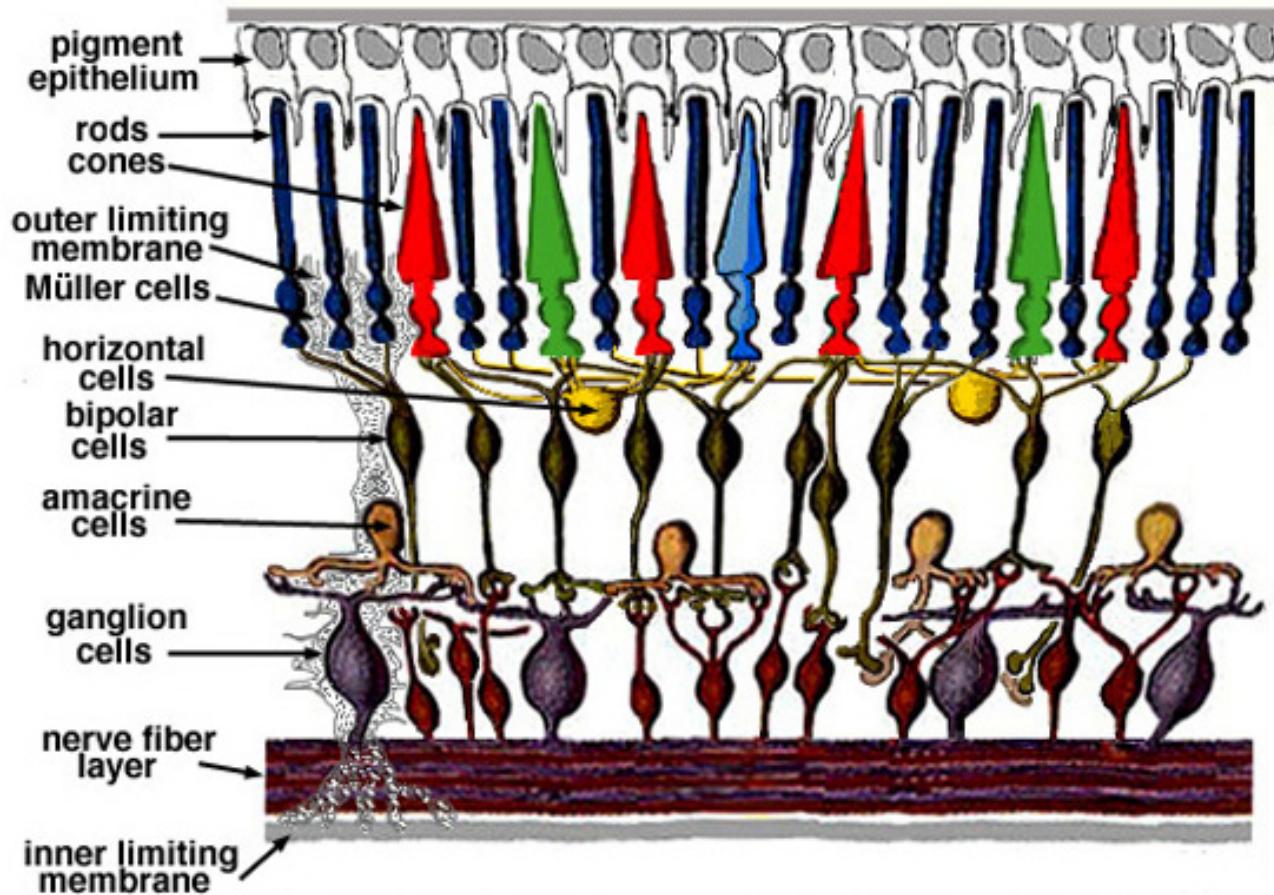


Figure 2

Mais mega-pixels requerem lentes de maior qualidade
(vide caso TekPix!)

Olho humano...

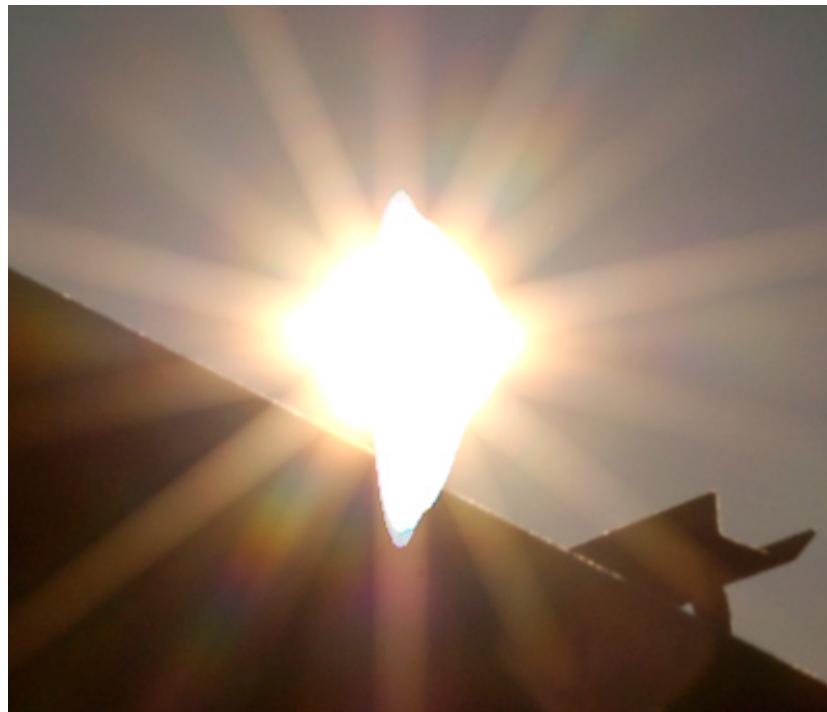




Alguns efeitos indesejados...

... Ou não!

Blooming



Aberração Cromática

Comprimento de ondas diferentes, refrações diferentes...



© Tony & Marilyn Karp



© Stan Zurek



© dpreview.com



© John Paul Caponigro

Interlacing

- Leitura incorreta das linhas/colunas



Rolling shutter

- Leitura “lenta” da linha/coluna



Vignetting



Projeção



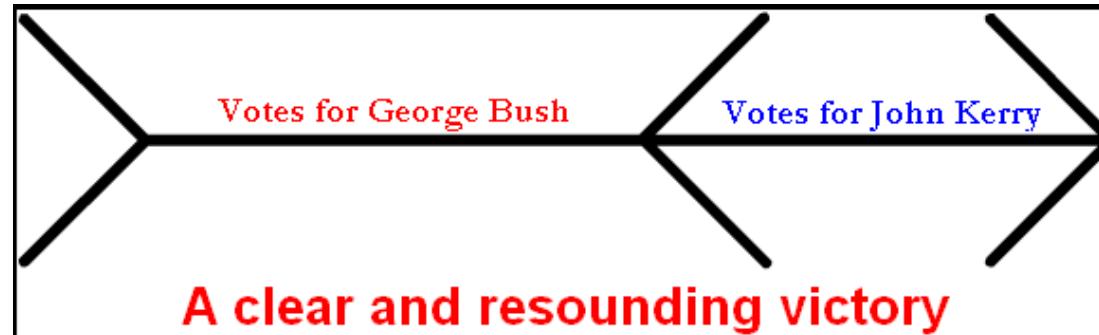
CoolOpticalIllusions.com

Projeção

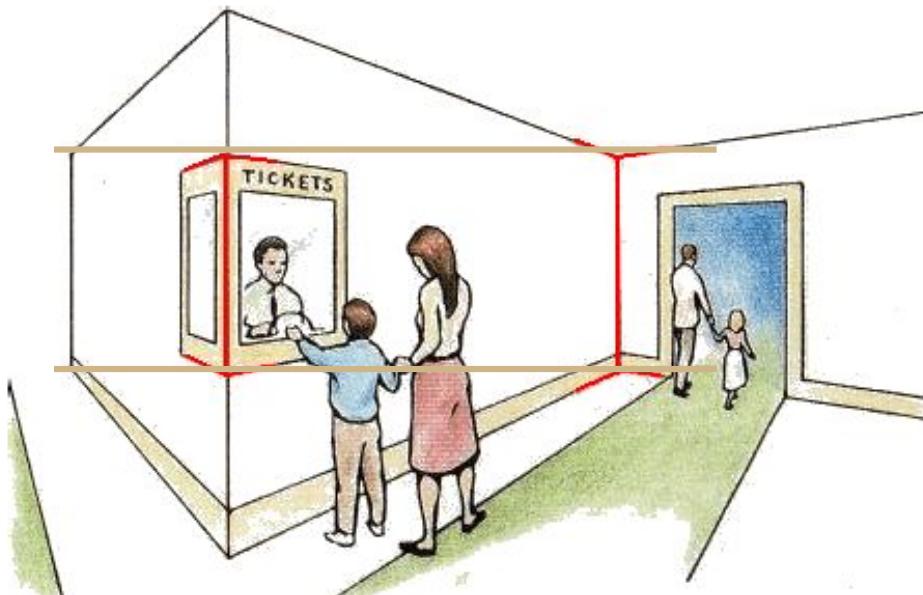


CoolOpticalIllusions.com

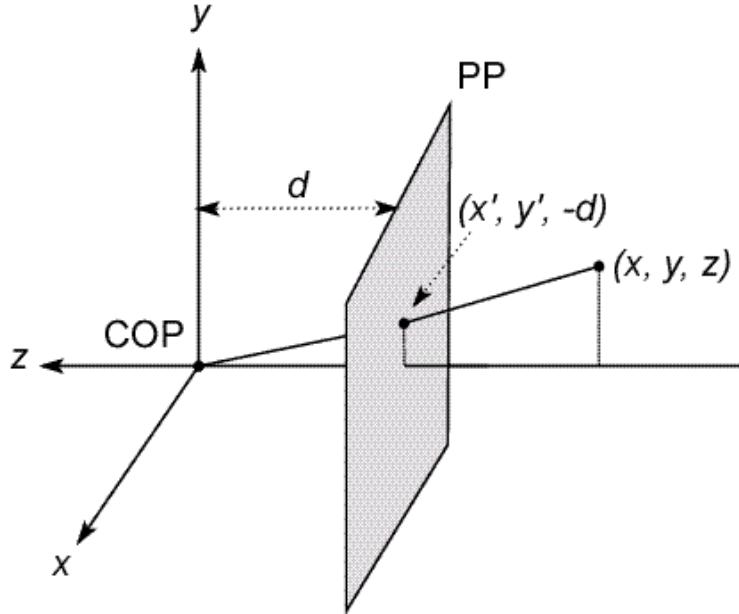
Ilusão de Müller-Lyer



by Pravin Bhat



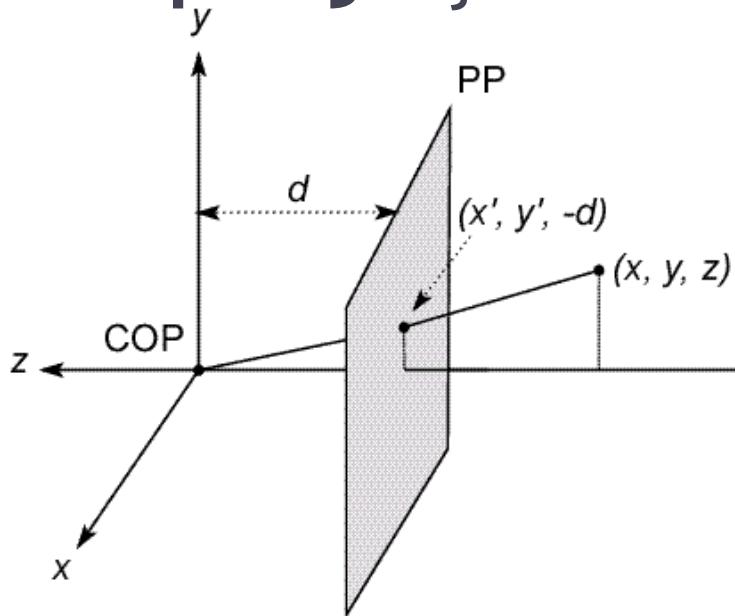
Modelando a projeção



- ## O sistema de coordenadas

- Utilizaremos um modelo pinhole (boa aproximação)
- Definimento o ponto COP (Center Of Projection) como a origem
- Colocaremos o plano da imagem (Projection Plane) em frente do COP
 - Geralmente em realidade virtual o plano da imagem está atrás (eixo positivo) do plano da imagem
- A câmera “aponta” para a parte negativa do eixo-z(regra da mão-direita)

Modelando a projeção



- Equações de projeção
 - Calcular a intersecção em PP de um raio de luz do objeto em (x, y, z) para COP
 - Triangulando...

$$(x, y, z) \rightarrow \left(-d \frac{x}{z}, -d \frac{y}{z}, -d \right)$$

- Decompondo em duas dimensões (imagem é planar!)

$$(x, y, z) \rightarrow \left(-d \frac{x}{z}, -d \frac{y}{z} \right)$$

Coordenadas Homogêneas

- Devido à não-linearidade entre os pontos a utilização de coordenadas não lineares facilita os cálculos da projeção.

Truque: Adiciona mais uma coordenada

$$(x, y) \Rightarrow \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

Coordenadas homogêneas na
imagem

$$(x, y, z) \Rightarrow \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

Coordenadas Homogêneas
da cena

Convertendo a partir de coordenadas homogêneas:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ w \end{bmatrix} \Rightarrow (x/w, y/w)$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ w \end{bmatrix} \Rightarrow (x/w, y/w, z/w)$$

Projeção de Perspectiva

- Projeção é uma multiplicação matricial usando coordenadas homogêneas:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1/d & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ -z/d \end{bmatrix} \Rightarrow \left(-d\frac{x}{z}, -d\frac{y}{z} \right)$$

Divide-se pela 3a coordenada

Esta operação é conhecida como **Perspectiva de Projeção**

- A matriz é chamada de **matriz de projeção**.

Projeção de Perspectiva

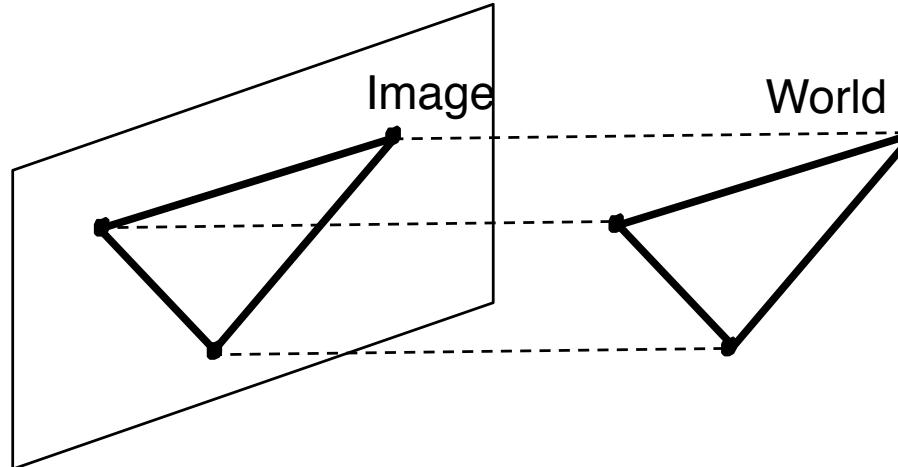
- Como a transformação de escala afeta a perspectiva?

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1/d & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ -z/d \end{bmatrix} \Rightarrow \left(-d\frac{x}{z}, -d\frac{y}{z} \right)$$

$$\begin{bmatrix} -d & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -d & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -dx \\ -dy \\ z \end{bmatrix} \Rightarrow \left(-d\frac{x}{z}, -d\frac{y}{z} \right)$$

Projeção Ortográfica

- Caso especial da Projeção de Perspectiva
 - Distância do COP a PP é infinita



- Boa aproximação para lentes telescópicas
- Também chamada de “projeção paralela”: $(x, y, z) \rightarrow (x, y)$
- Como será a matriz de projeção neste caso?

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \Rightarrow (x, y)$$

Lentes telescópicas

Fazem objetos distantes se parecerem bem mais próximos do que realmente estão.



Variantes da projeção ortográfica

- Scaled orthographic
 - Também chamada de Perspectiva fraca

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1/d \end{bmatrix} \Rightarrow (dx, dy)$$

- Projeção Afim (Affine projection)
 - Também chamada de “paraperspectiva”

$$\begin{bmatrix} a & b & c & d \\ e & f & g & h \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

Parâmetros da Câmera

- Problemas:
 - A câmera pode não estar no local de origem, apontando (orientação) para o sentido negativo do eixo x;
 - Parâmetros Extrínsecos ou Externos
 - Definem a relação entre um ponto em coordenadas da câmera e o pixel
 - Parâmetros Instrínsecos ou Internos – Distância Focal, ponto principal, “aspect ratio”, ângulo entre eixos, etc.

$$\begin{pmatrix} U \\ V \\ W \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{Transformação} \\ \text{representando os} \\ \text{parâmetros Intrínsecos} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \text{Transformação} \\ \text{representando os} \\ \text{parâmetros Extrínsecos} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ T \end{pmatrix}$$

Calibração de Câmeras

- Problemas:
 - Quais são os parâmetros intrínsecos da câmera?
 - Qual é a Matriz de Transformação da Câmera? (intrínsecos +extrínsecos)
- Estratégia Geral:
 - Visualizar um objeto de calibração;
 - Identificar pontos na imagem;
 - Obtenção da Matriz de Transformação da Câmera por minimização de erros;
 - Extrair os parâmetros intrínsecos a partir da Matriz de Transformação da Câmera;
- Erros de Minimização:
 - Mínimos Quadrados Linear
 - Fácil solução numérica;
 - Solução pode ser inadequada(ruim);
 - Minimizar a distância da Imagem
 - Solução numérica complexa;
 - Solução relativamente adequada;
 - Inicia-se com Mínimos Quadrados Linear;
 - Problemas de Condicionamento numérico;

Motivos para a Calibração...



from [Helmut Dersch](#)



Outros tipos de projeção...

360 degree field of view...

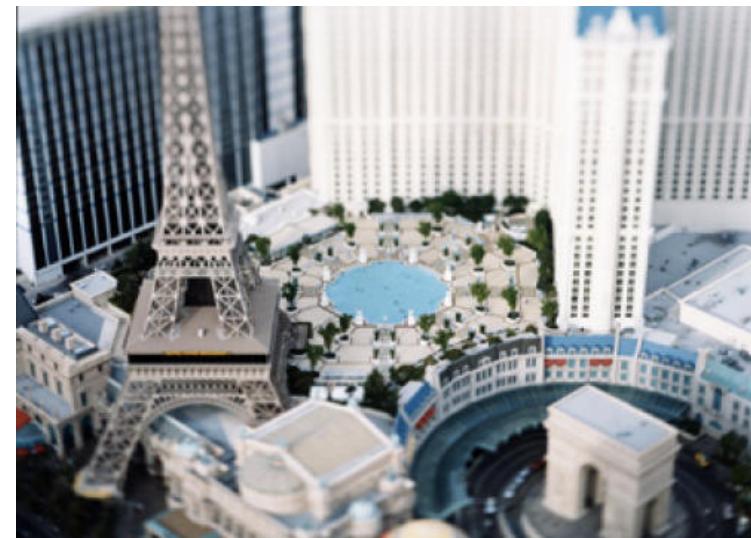
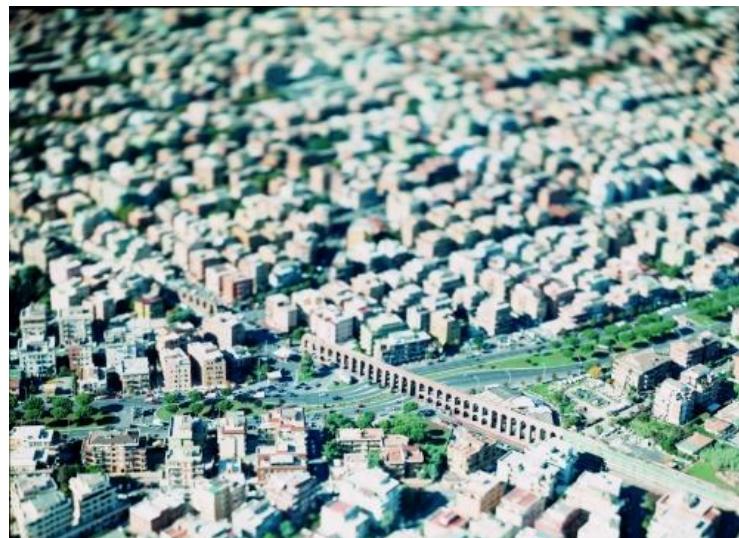


- Idéia básica
 - Utilize um espelho convexo e compre uma lente para uma câmera omnidirecional
 - <http://www.cis.upenn.edu/~kostas/omni.html>

Tilt-shift

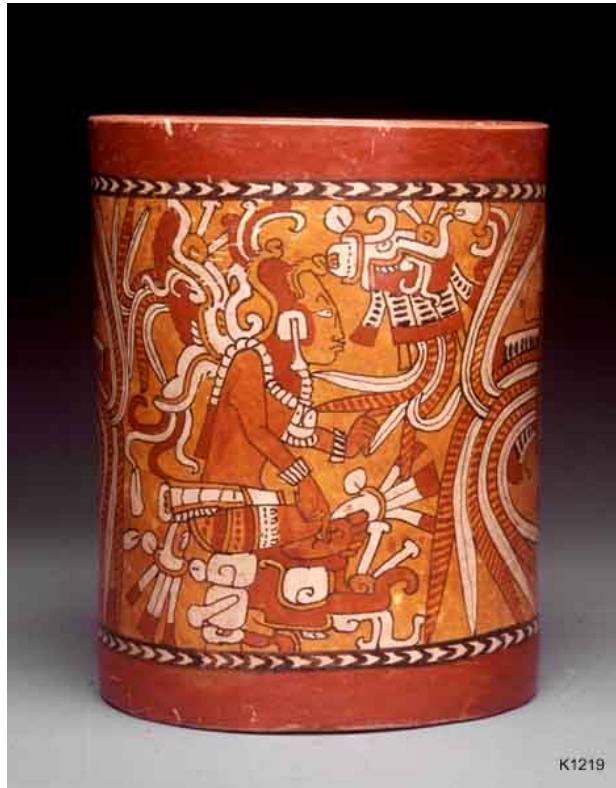


http://www.northlight-images.co.uk/article_pages/tilt_and_shift_ts-e.html



Tilt-shift images from [Olivo Barbieri](#) and Photoshop [imitations](#)

Rotating sensor (or object)

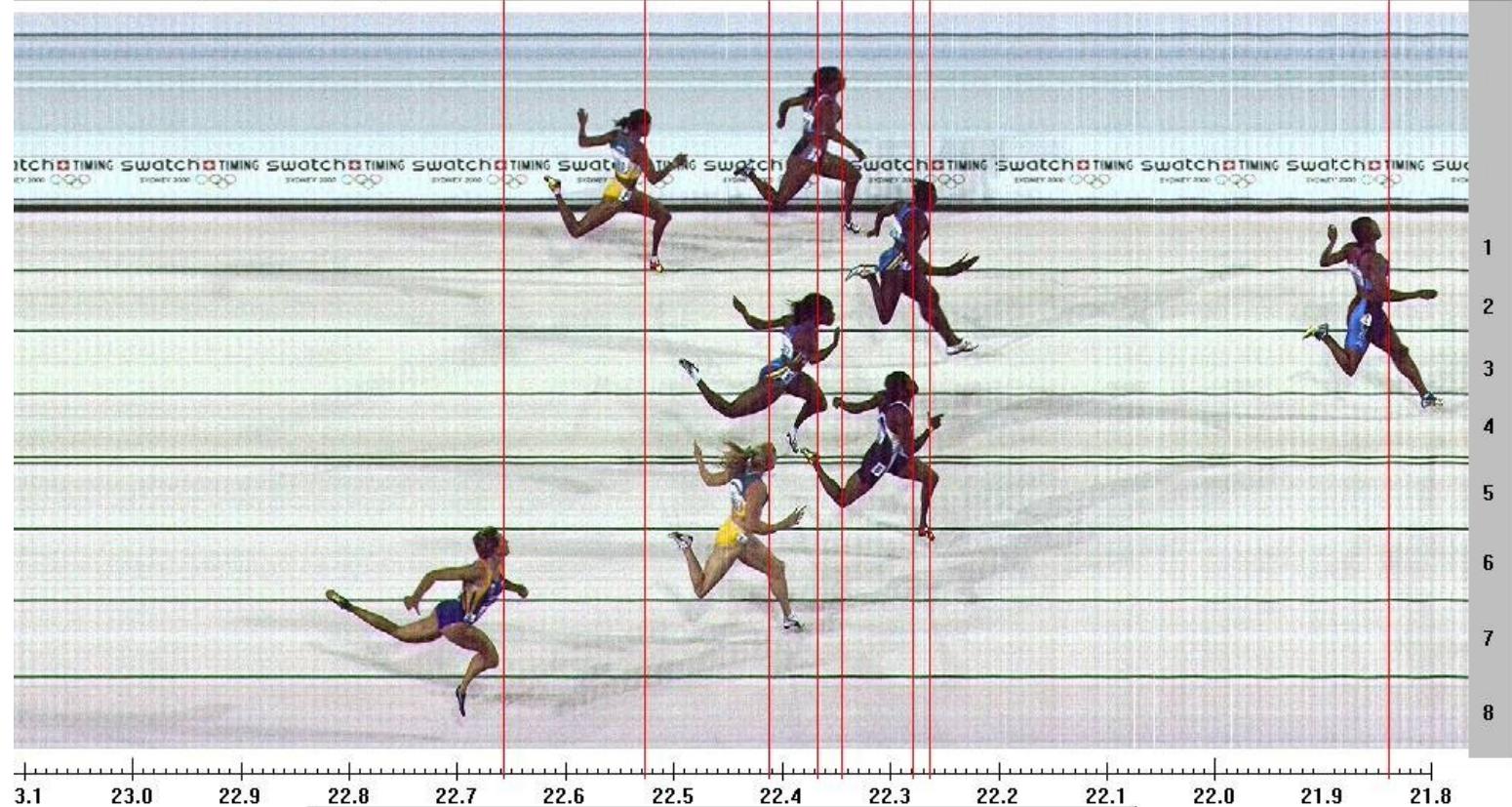


Rollout Photographs © Justin Kerr
<http://research.famsi.org/kerrmaya.html>

Also known as “cyclographs”, “peripheral images”

Photofinish

The 2000 Sydney Olympic Games - 200m Women Final



TM © SOCOG 1996

Results Wind : + 0.7 m/s			
Rank	La	Bib	Nu
1.	I	41	3357 Jones Marion
2.	I	31	1174 Davis-Thompson Pauline
3.	I	61	3058 Jayasinghe Susanthika
4.	I	11	2291 McDonald Beverly
5.	I	51	1178 Ferguson Debbie
6.	I	71	1111 Gainsford-Taylor Melinda
7.	I	21	1110 Freeman Cathy
8.	I	81	3239 Pintusevych Zhanna

Start: 28. 9.2000 19:57:19.033 @414
Print: 28. 9.2000 20:00:54 @417

Scan'O'Vision Color
Race ID: W200FI00

swatch TIMING

Photo credit: © 2000 Swatch Timing Ltd.

All rights reserved

If this photo is used for any commercial purpose, layout and copy have to be submitted to any recognizable person prior to release.

The producer does not assume any responsibility.

Próxima Aula...

- Calibração de Câmeras