

Visão Computacional

Aula 06

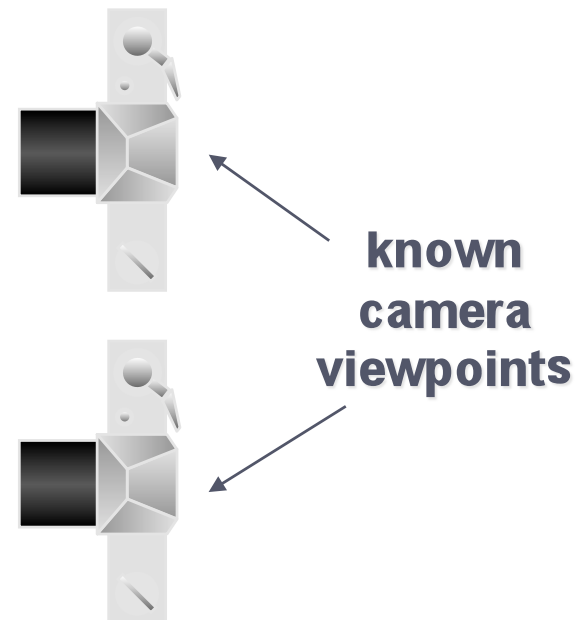
Geometria para Múltiplas Vistas
Visão Estéreo

Objetivo Principal ... 3D!

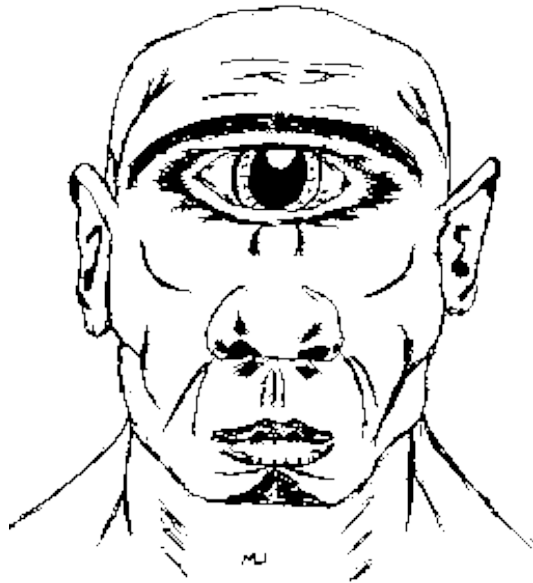


Reconstrução Estéreo

- Problemas da reconstrução estéreo:
 - Reconstrução por duas (ou mais) imagens
 - Motivação biológica



Por quê temos dois olhos?



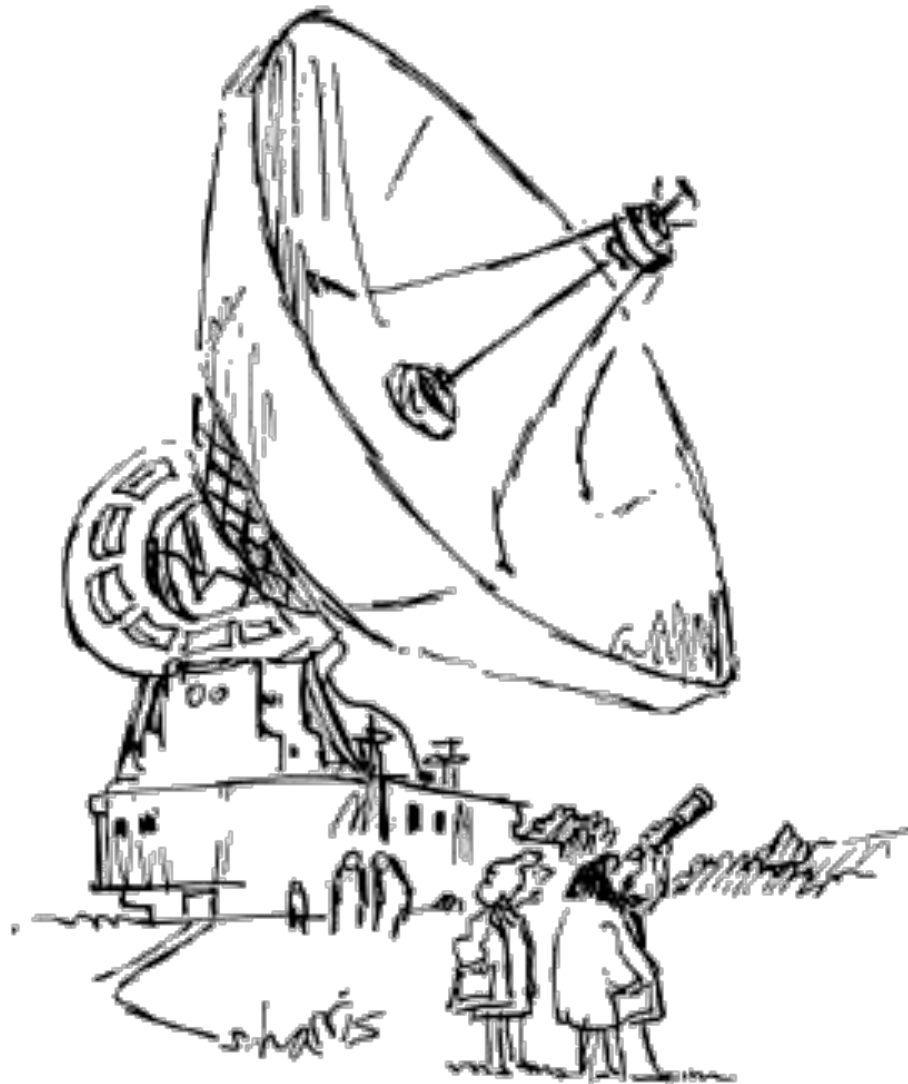
Cyclope

vs.



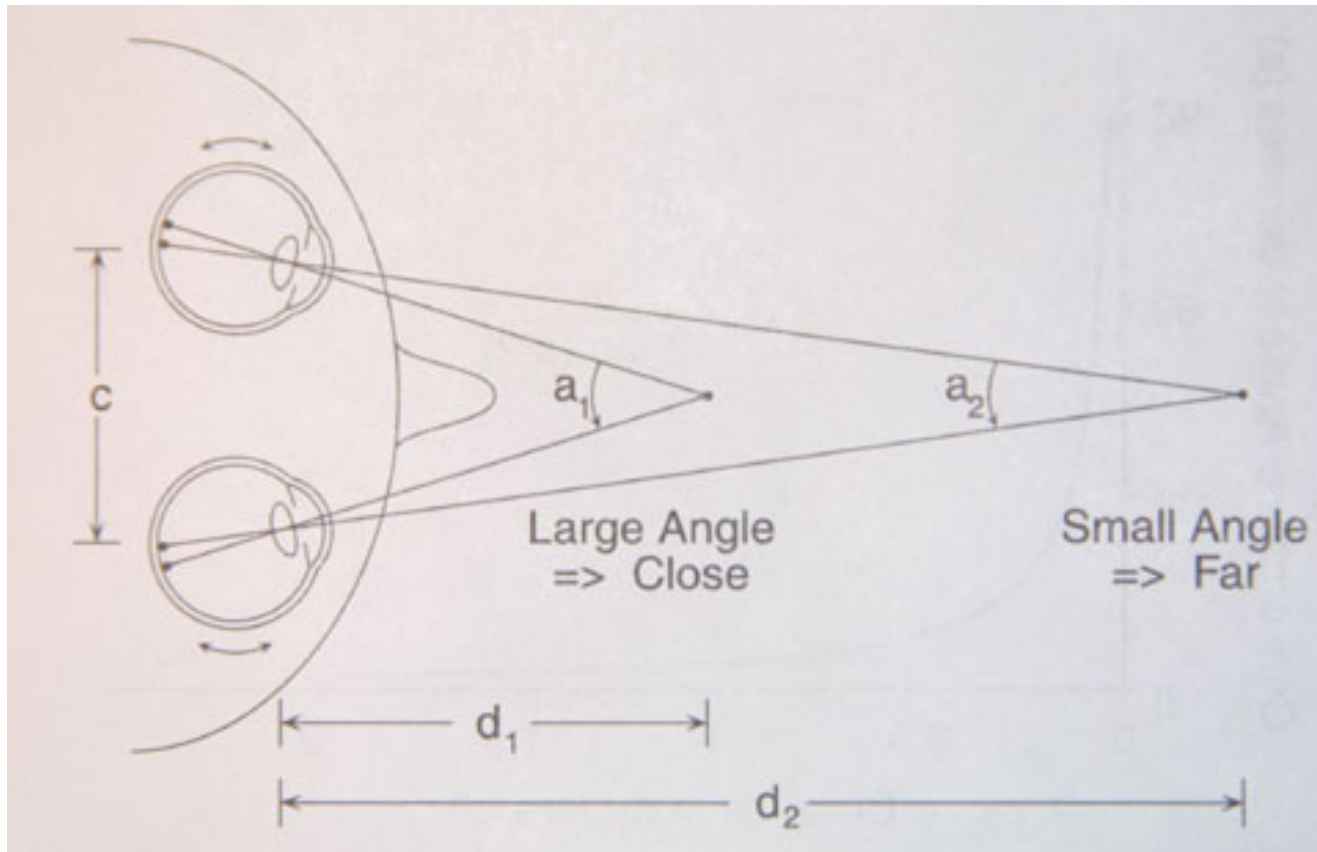
Odysseus

Dois é melhor que um!



"Just checking."

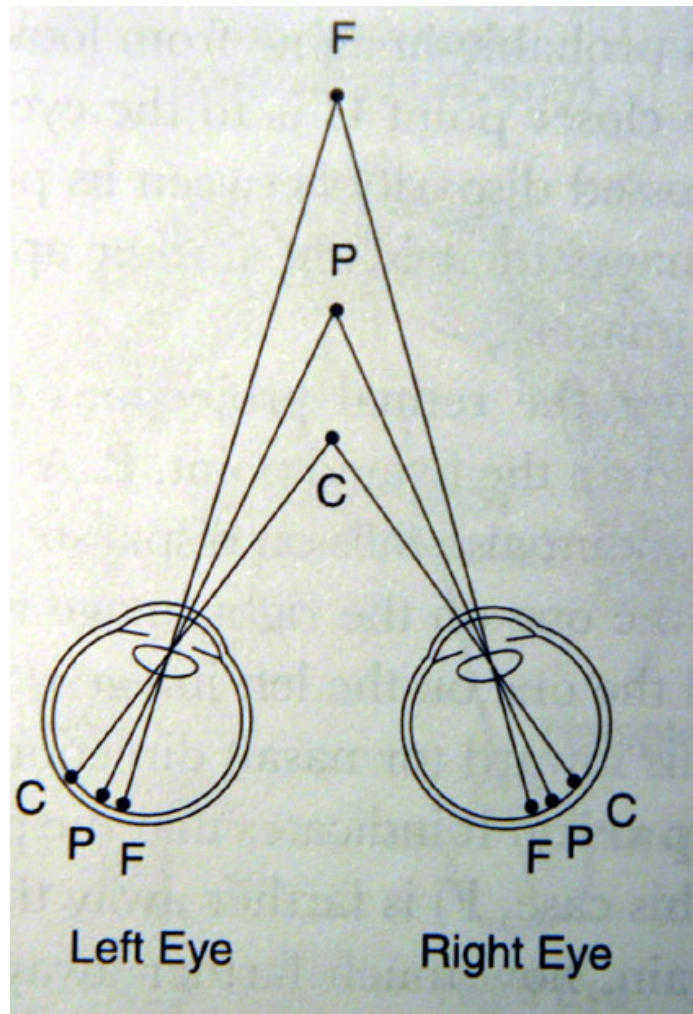
Profundidade a partir da convergência



$$d = \frac{c}{2 \tan(a/2)}$$

Desempenho humano: em torno 3 metros!

Profundidade a partir da disparidade monocular



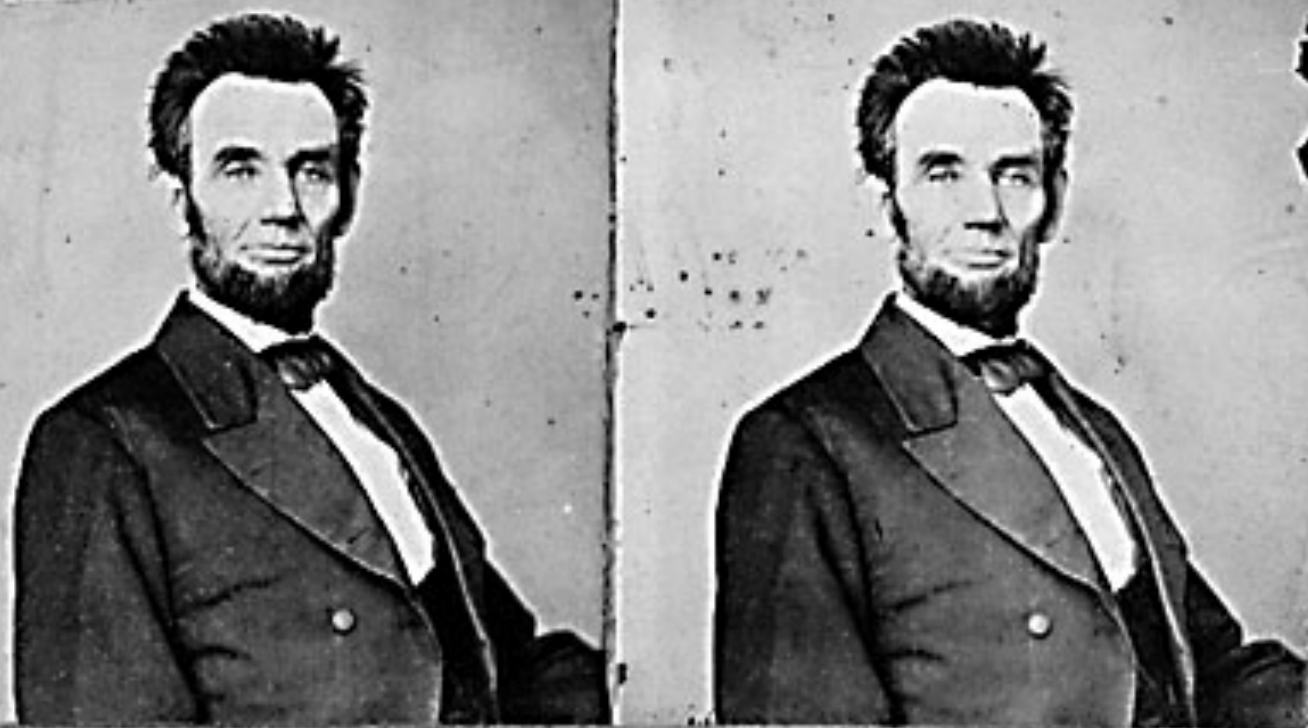
P: ponto de convergência

*C: projeção do objeto
mais próximo a P,
disparidade = +*

*F: objeto mais
afastado/interior de
P, disparidade = -*

Disparidade tem sinal e magnitude!

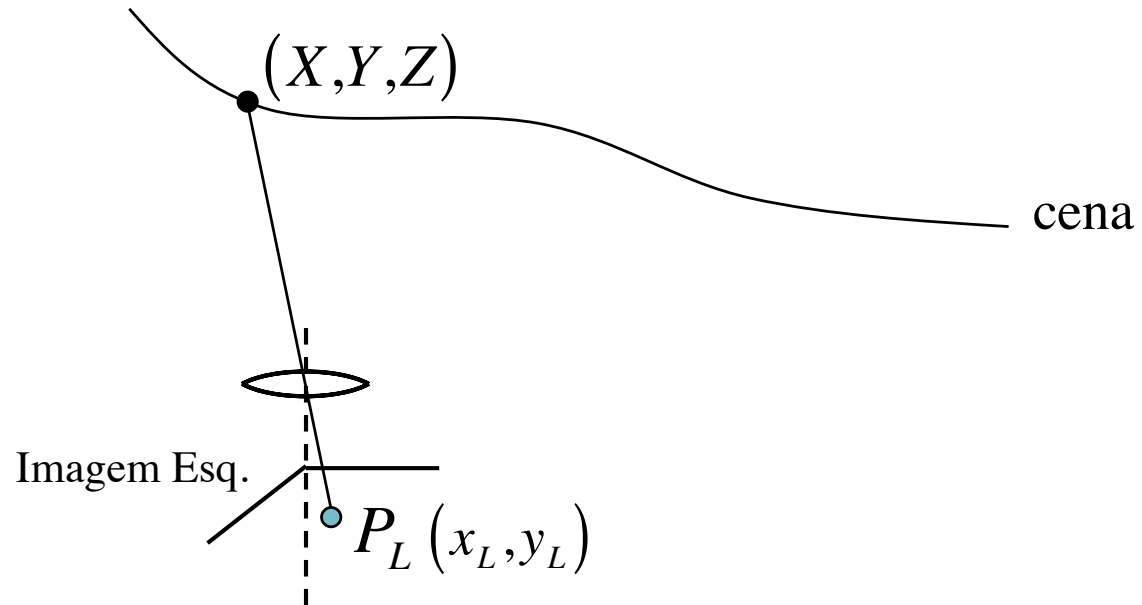
HON. ABRAHAM LINCOLN, President of United States.



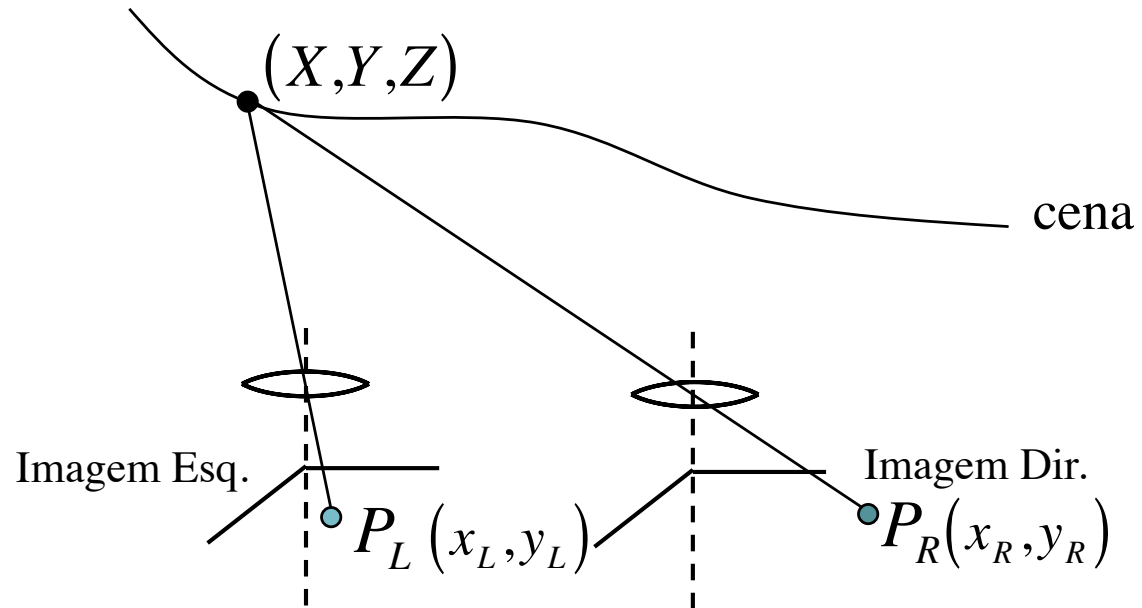
Disparidade e Profundidade



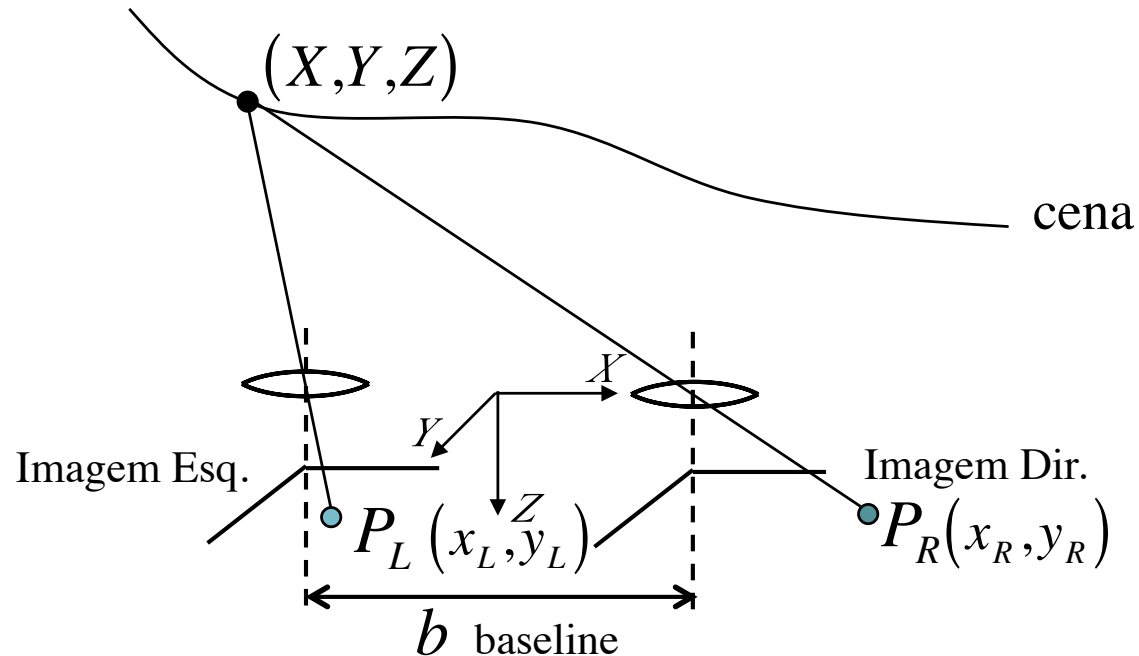
Disparidade e Profundidade



Disparidade e Profundidade



Disparidade e Profundidade

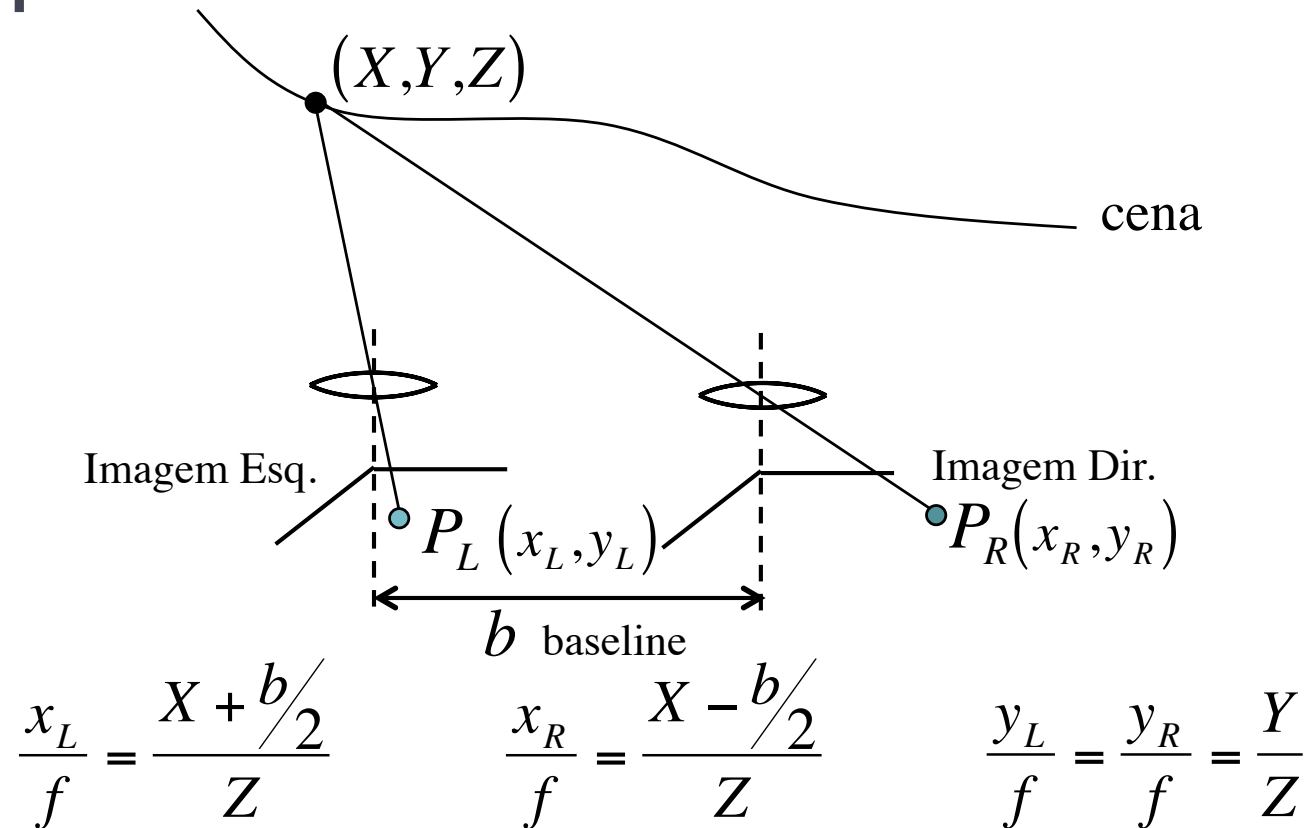


Assume-se que se conhece a correspondência entre P_L e P_R

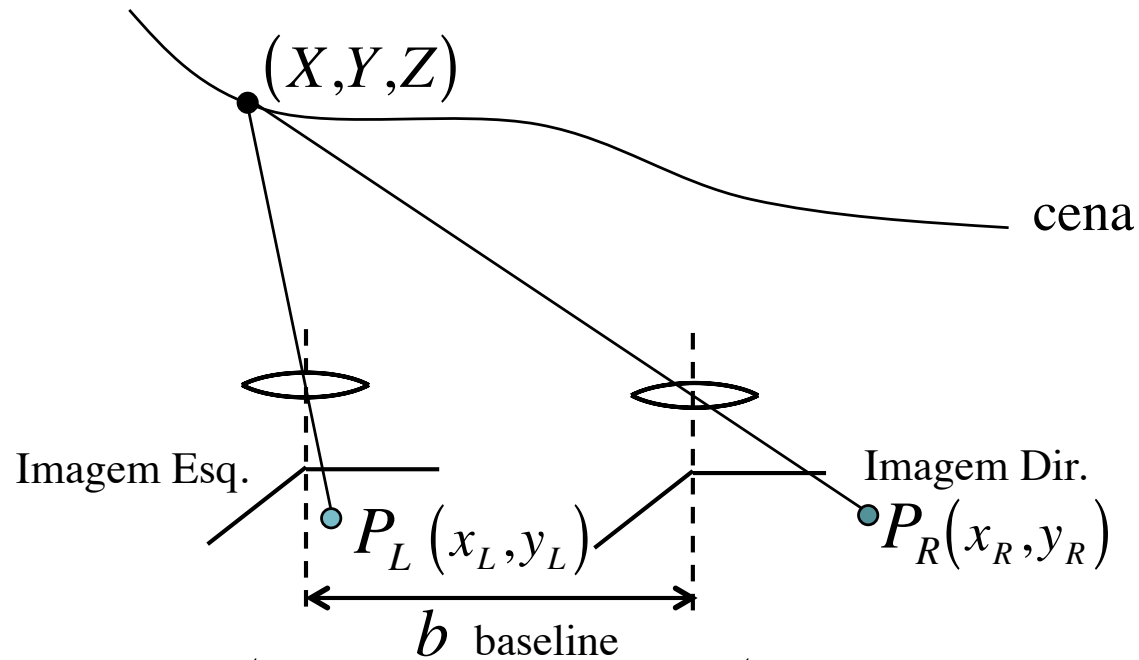
A partir da projeção de perspectiva:

$$\frac{x_L}{f} = \frac{X + b/2}{Z} \quad \frac{x_R}{f} = \frac{X - b/2}{Z} \quad \frac{y_L}{f} = \frac{y_R}{f} = \frac{Y}{Z}$$

Disparidade e Profundidade

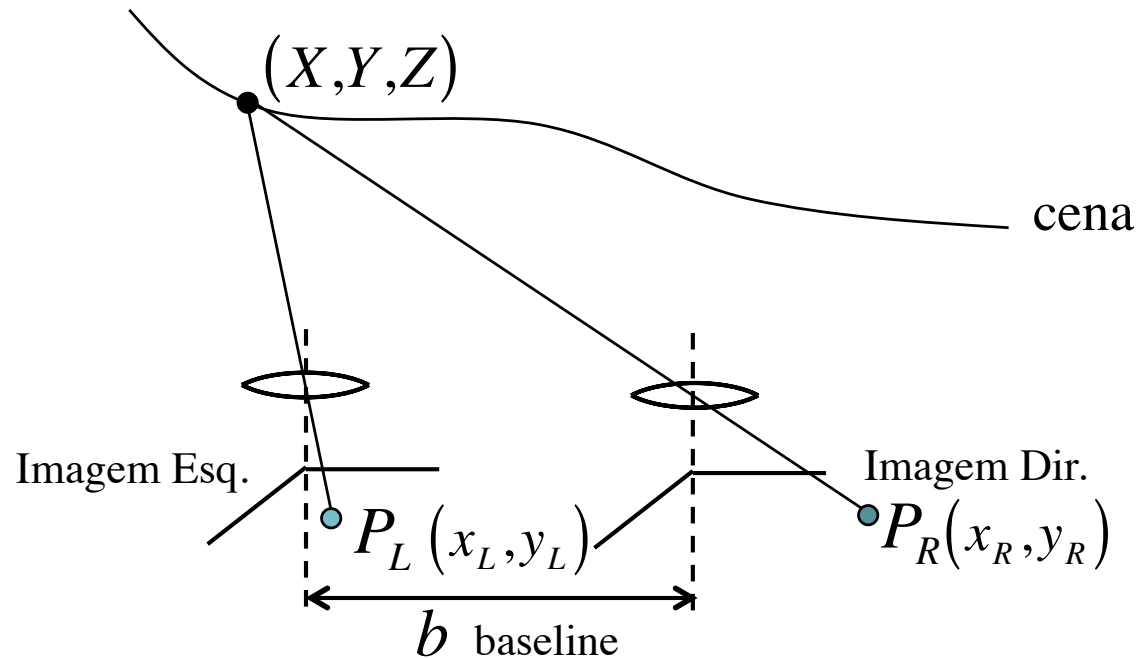


Disparidade e Profundidade



$$\begin{aligned} \frac{x_L}{f} &= \frac{X + b/2}{Z} & \frac{x_R}{f} &= \frac{X - b/2}{Z} & \frac{y_L}{f} &= \frac{y_R}{f} = \frac{Y}{Z} \\ \Rightarrow X &= \frac{b(x_L + x_R)}{2(x_L - x_R)} & Y &= \frac{b(y_L + y_R)}{2(x_L - x_R)} & Z &= \frac{bf}{(x_L - x_R)} \end{aligned}$$

Disparidade e Profundidade

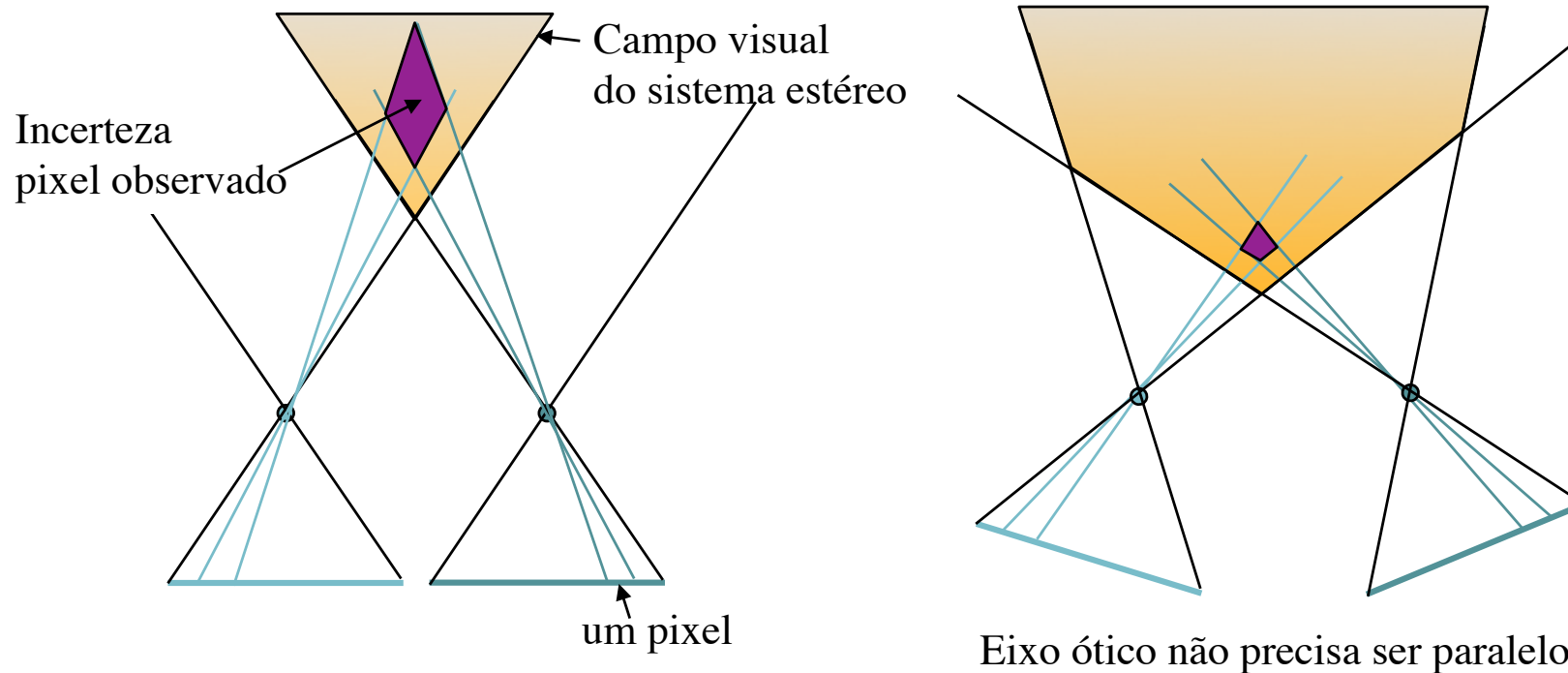


$$\begin{aligned} \frac{x_L}{f} &= \frac{X + b/2}{Z} & \frac{x_R}{f} &= \frac{X - b/2}{Z} & \frac{y_L}{f} &= \frac{y_R}{f} = \frac{Y}{Z} \\ \Rightarrow X &= \frac{b(x_L + x_R)}{2(x_L - x_R)} & Y &= \frac{b(y_L + y_R)}{2(x_L - x_R)} & Z &= \frac{bf}{(x_L - x_R)} \end{aligned}$$

$d = x_L - x_R$ é a disparidade entre os pontos na imagem direita e esquerda

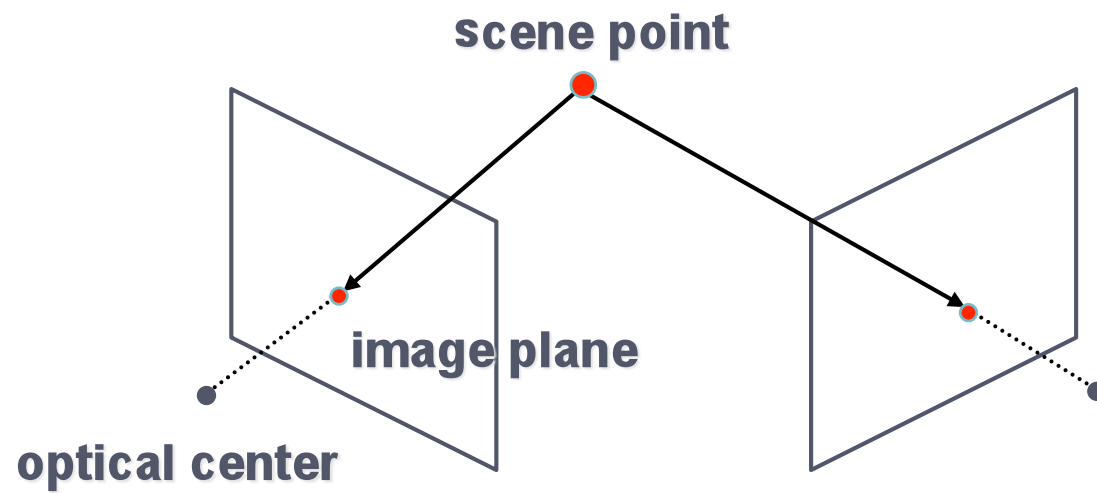
- é inversamente proporcional à profundidade
- a disparidade aumenta com a baseline **b**

Convergência visual (“Vergence”)

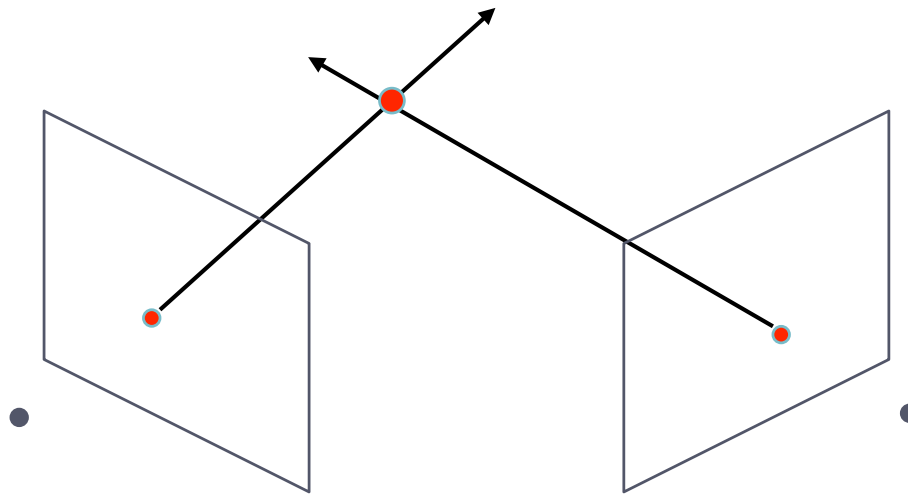


- Campo visual diminui com o aumento da baseline e convergência visual
- Acurácia aumenta com a linha de base e aumento da convergência visual

Estéreo



Estéreo

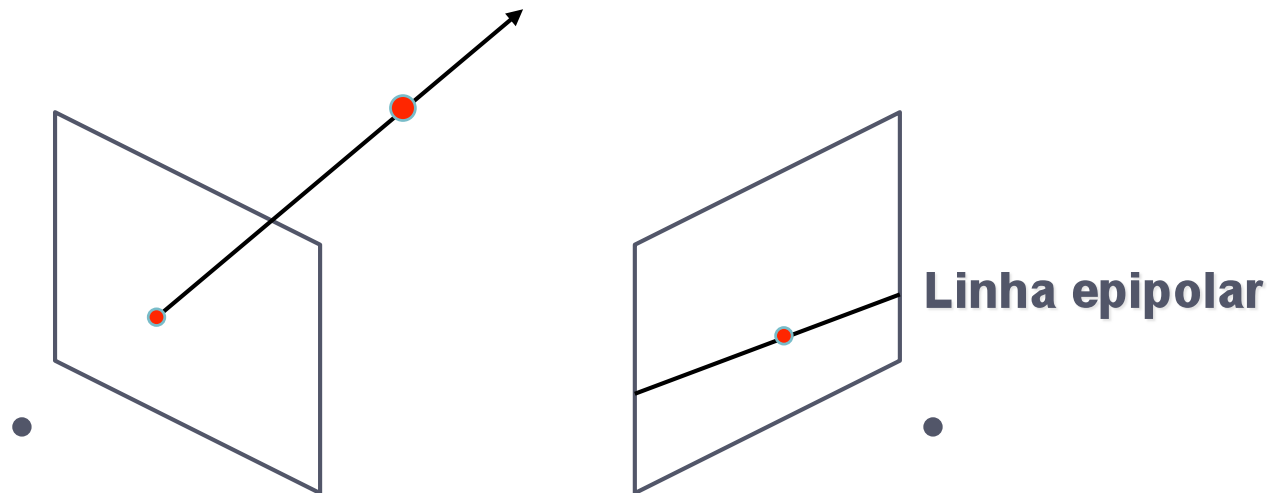


Princípio Básico: Triangulação

- A reconstrução é feita pela interseção de dois segmentos de reta a partir do centro da câmera;
- Requer:
 - Calibração (Quais parâmetros são necessários?)
 - ***Correspondência entre os pontos.***

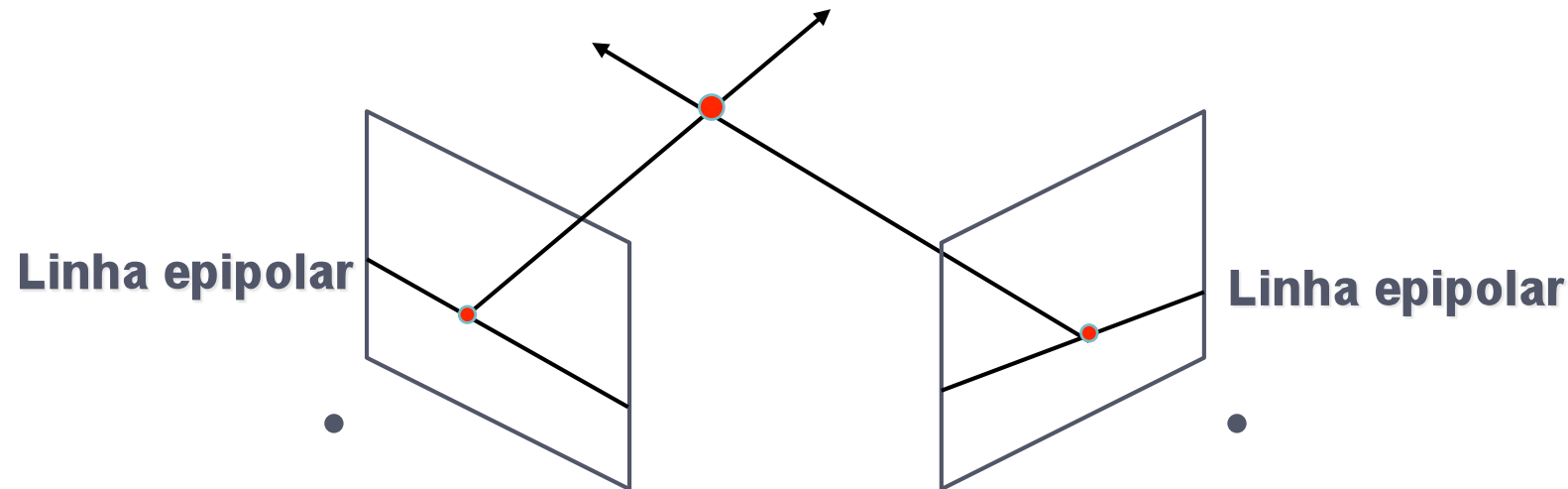
Correspondência Estéreo

- Determinar a correspondência dos pixels:
 - Encontrar o par de pontos que pertencem à mesma cena;



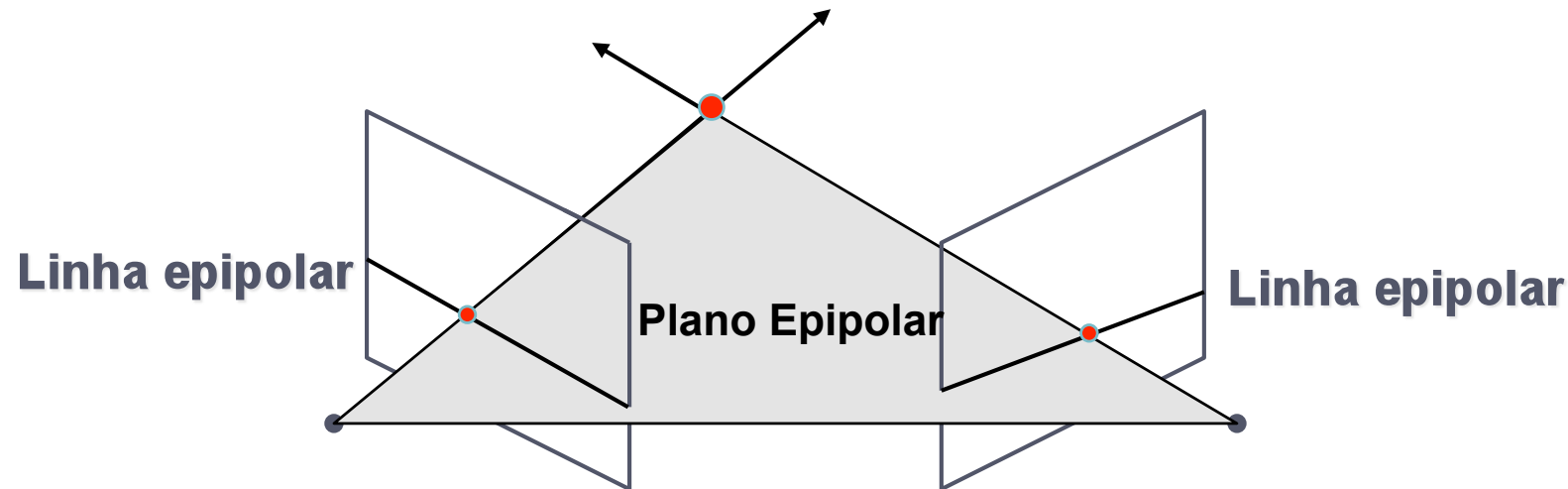
Correspondência Estéreo

- Determinar a correspondência dos pixels:
 - Encontrar o par de pontos que pertencem à mesma cena;



Correspondência Estéreo

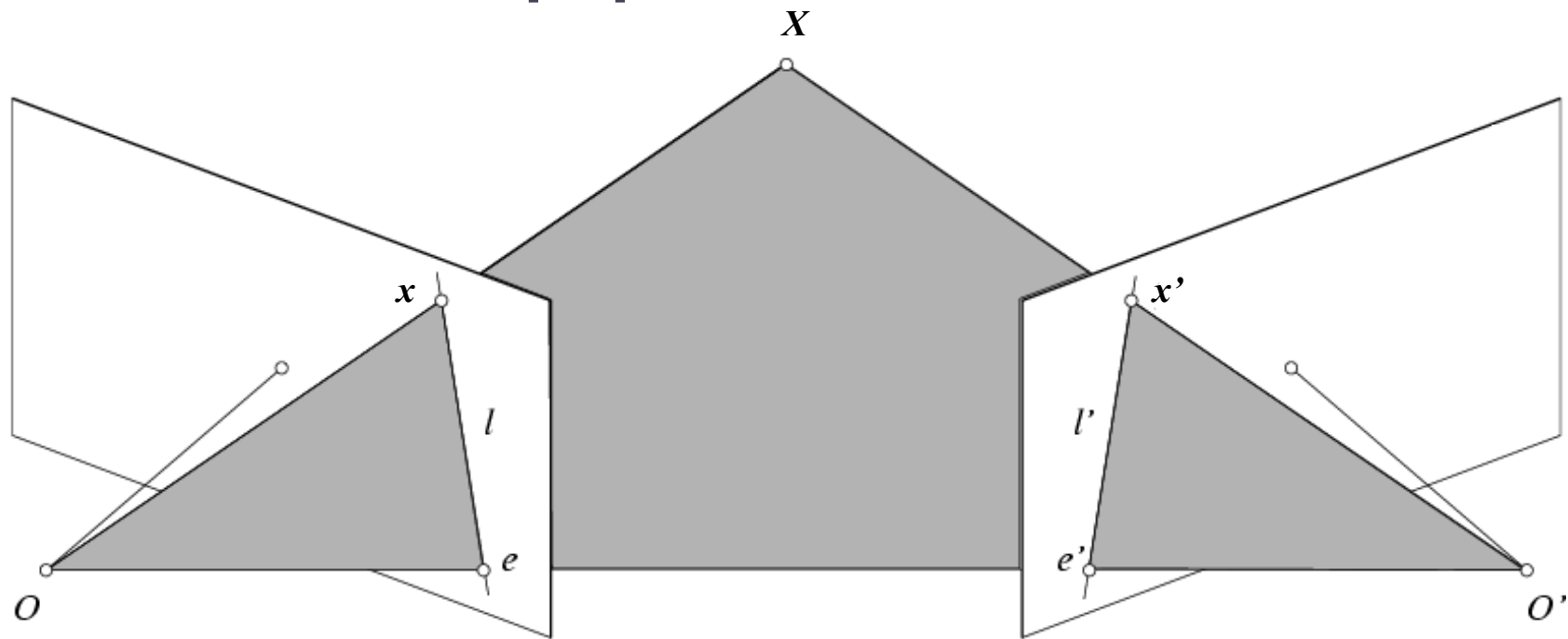
- Determinar a correspondência dos pixels:
 - Encontrar o par de pontos que pertencem à mesma cena;



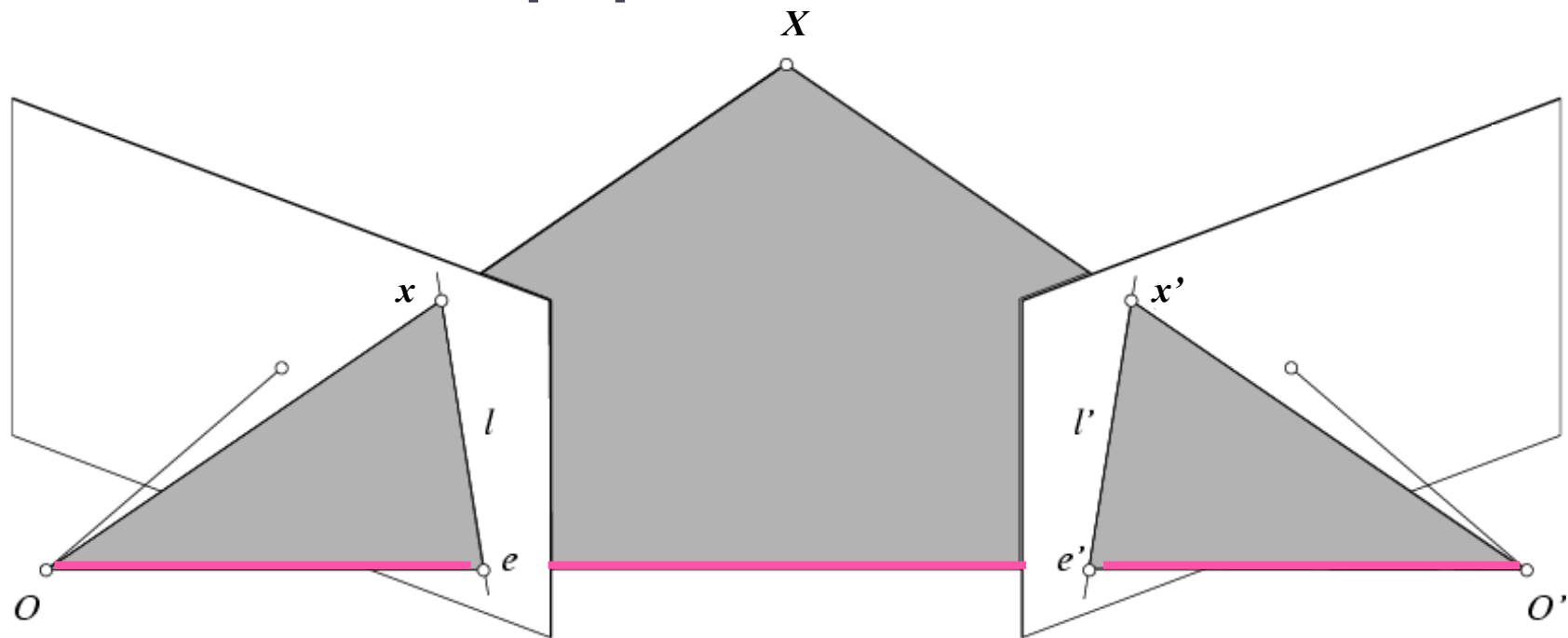
Restrição da Epipolar

- Reduz o problema da correspondência para uma busca unidimensional ao longo da linha epipolar;

Geometria Epipolar

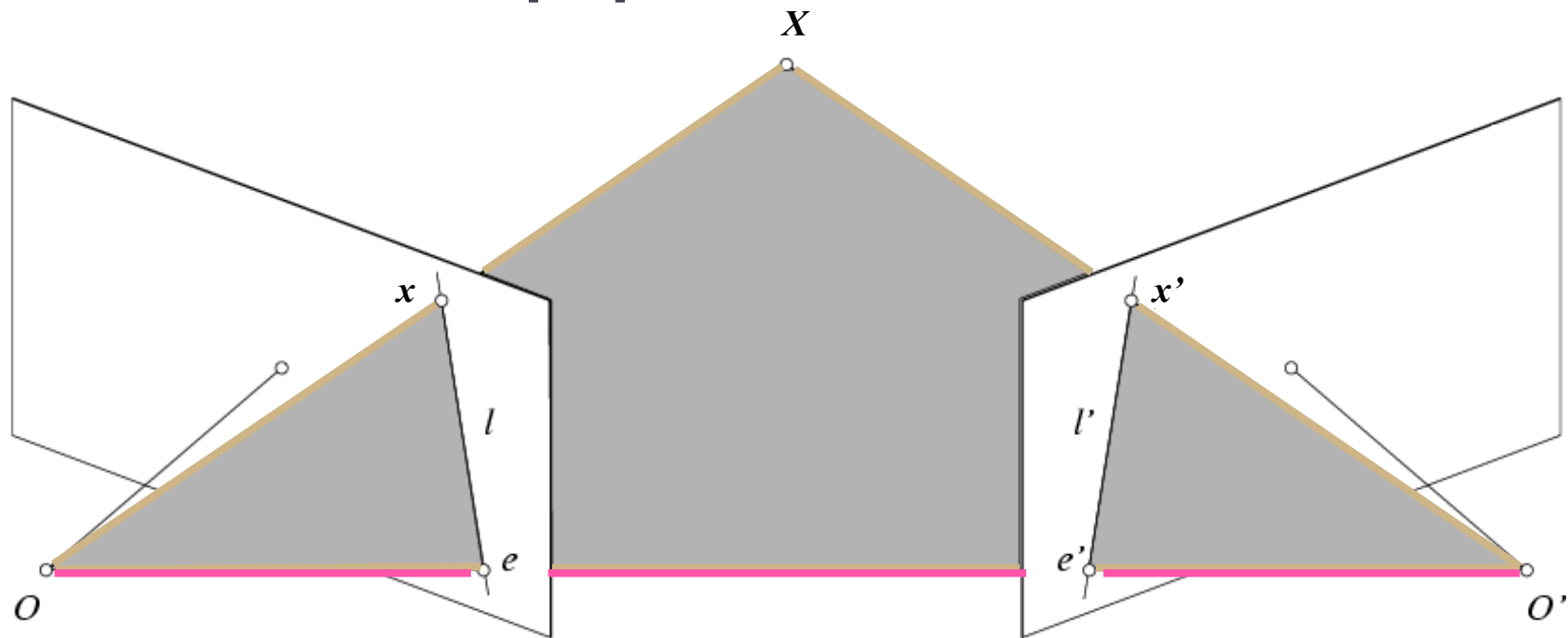


Geometria Epipolar



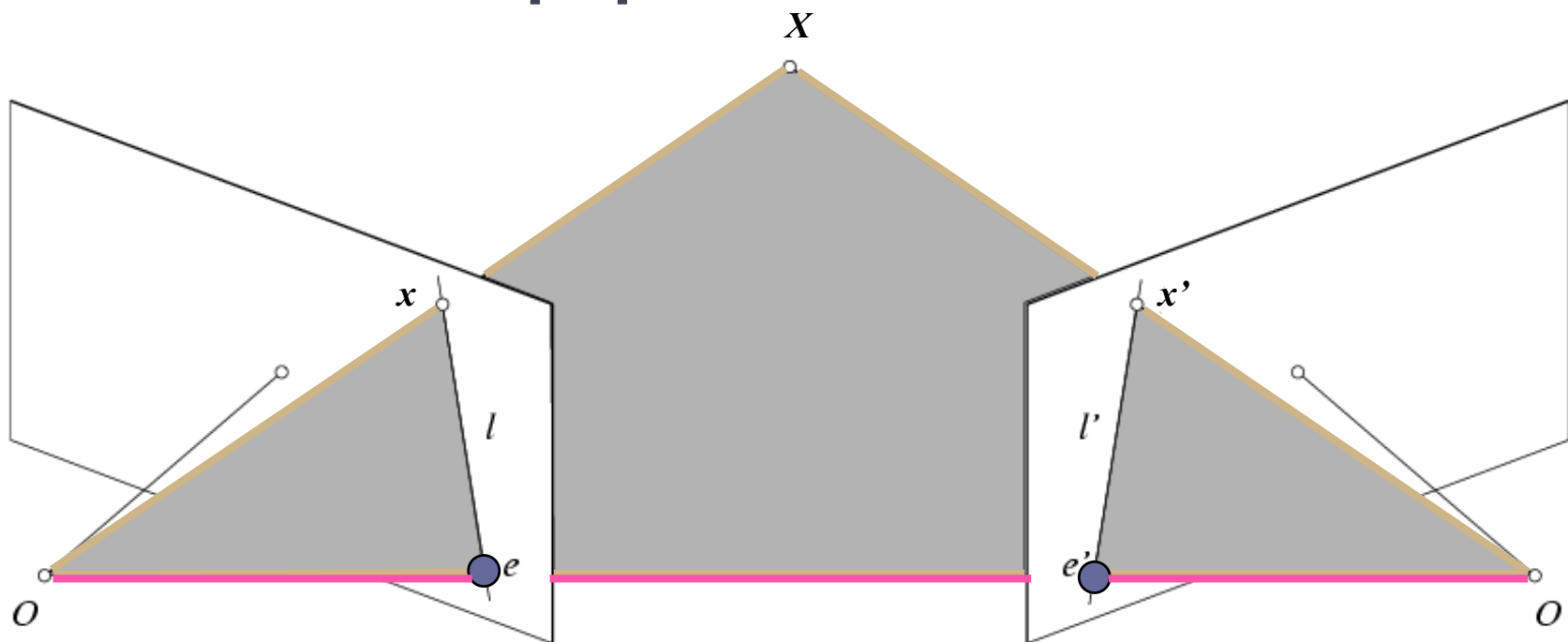
- **Baseline** – linha conectando os centros das duas câmeras

Geometria Epipolar



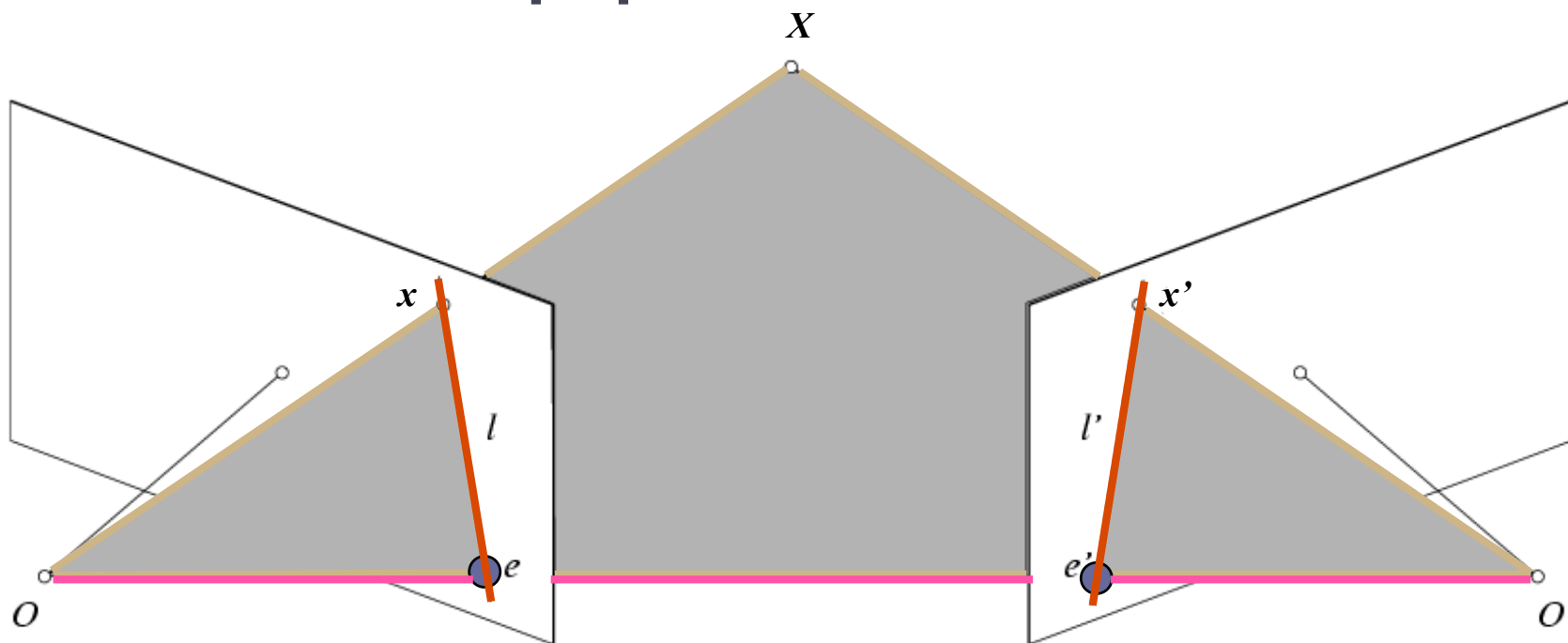
- **Baseline** – linha conectando os centros das duas câmeras
- **Epipolar Plane** – plano contendo a linha de base (1D family)

Geometria Epipolar



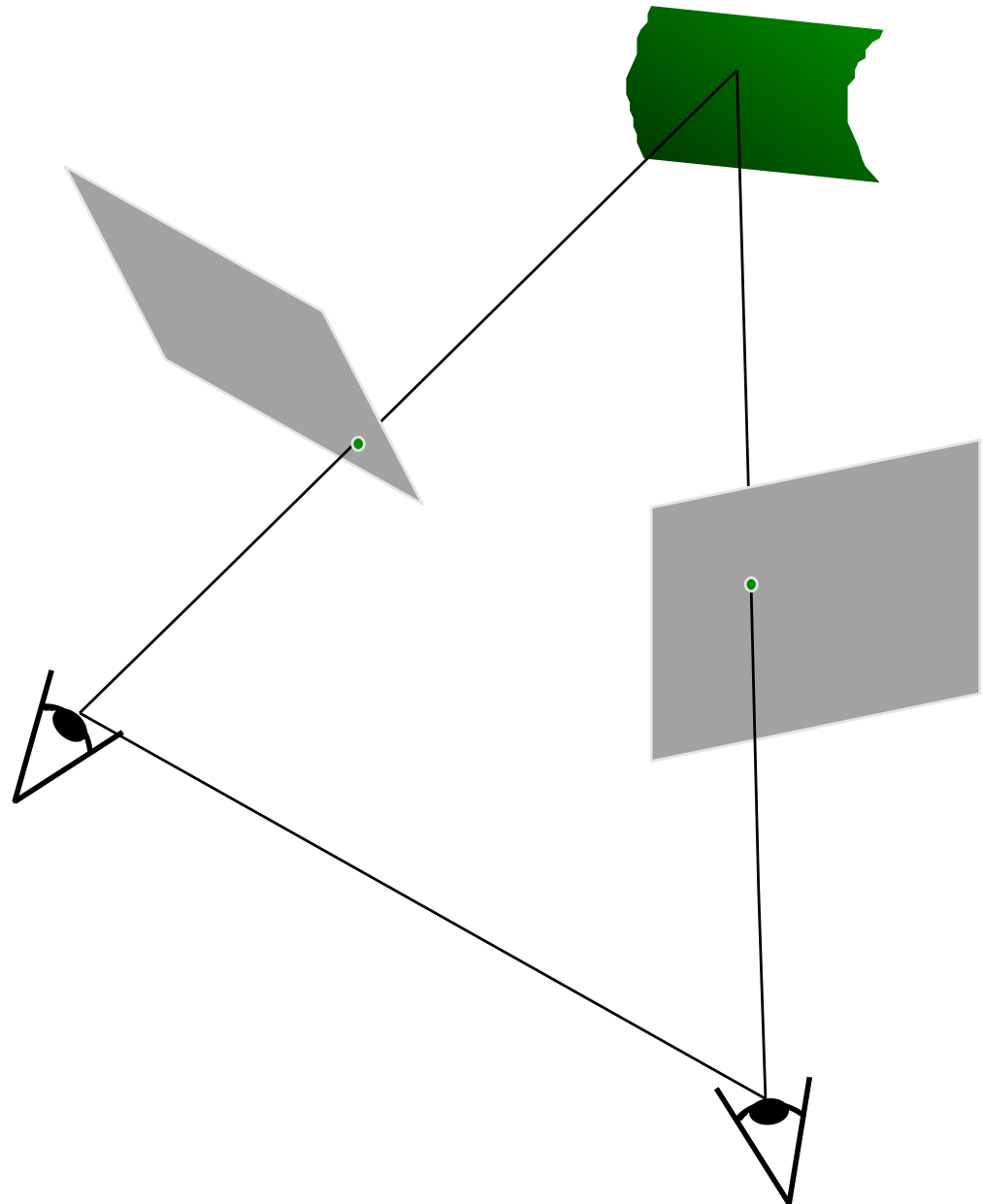
- **Baseline** – linha conectando os centros das duas câmeras
- **Epipolar Plane** – plano contendo a linha de base (1D family)
- **Epipólos**
 - = Intersecção da linha de base com o plano da imagem
 - = projeção do centro da outra câmera
 - = pontos “desaparecidos” na direção do movimento da câmera

Geometria Epipolar



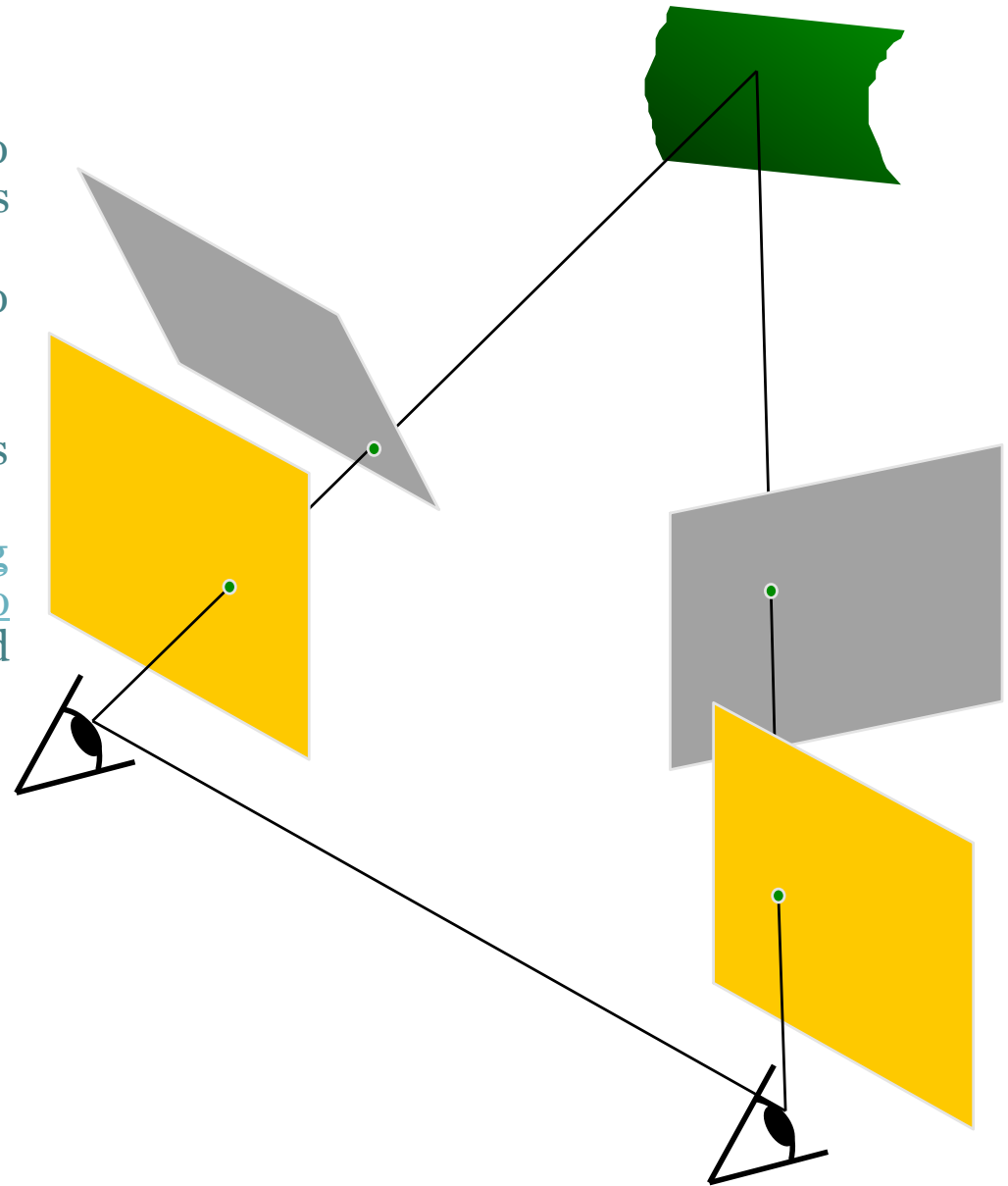
- **Baseline** – linha conectando os centros das duas câmeras
- **Epipolar Plane** – plano contendo a linha de base (1D family)
- **Epipólos**
 - = Intersecção da linha de base com o plano da imagem
 - = projeção do centro da outra câmera
 - = pontos “desaparecidos” na direção do movimento da câmera
- **Epipolar Lines** – intersecção do plano epipolar com o plano da imagem

Retificação de Imagens Estéreo

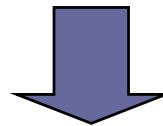
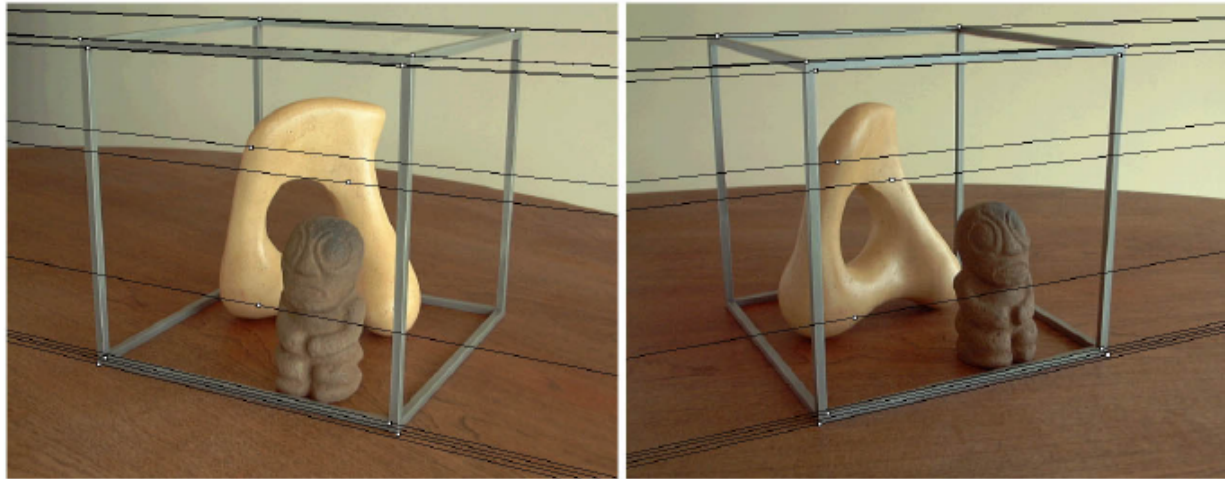


- Reprojeção de Imagem

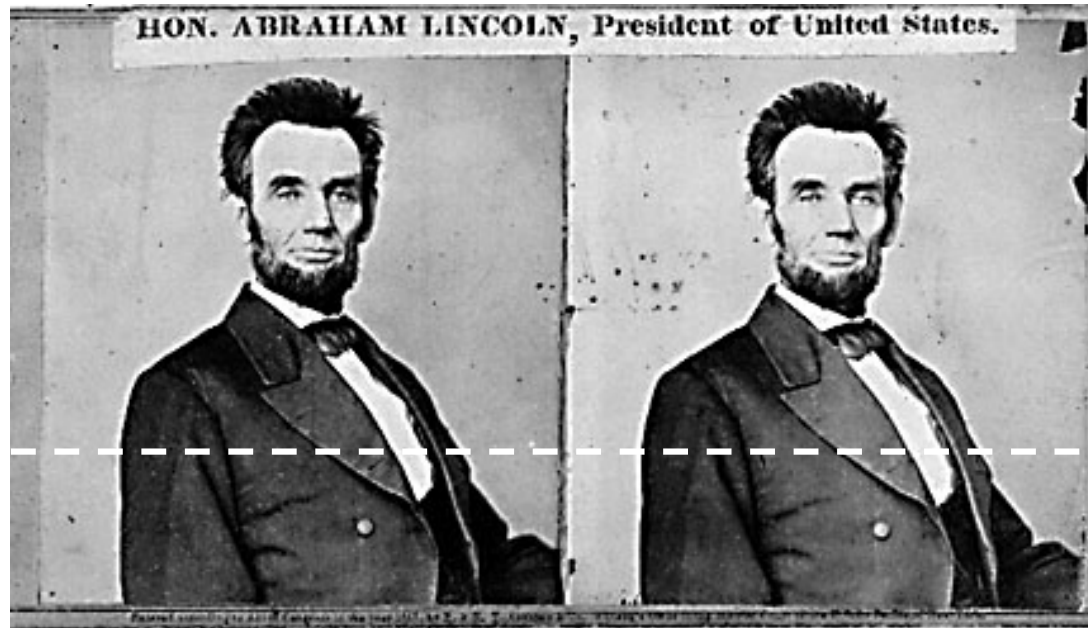
- Plano da imagem é reprojetoado sobre o plano comum paralelo às linhas entre os eixos ópticos;
- a homografia (matriz de transformação 3x3) aplicado a ambas imagens de entrada;
- Deslocamento do pixel é horizontal após a transformação;
- C. Loop and Z. Zhang. [Computing Rectifying Homographies for Stereo Vision](#). IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, 1999.



Retificação Estéreo

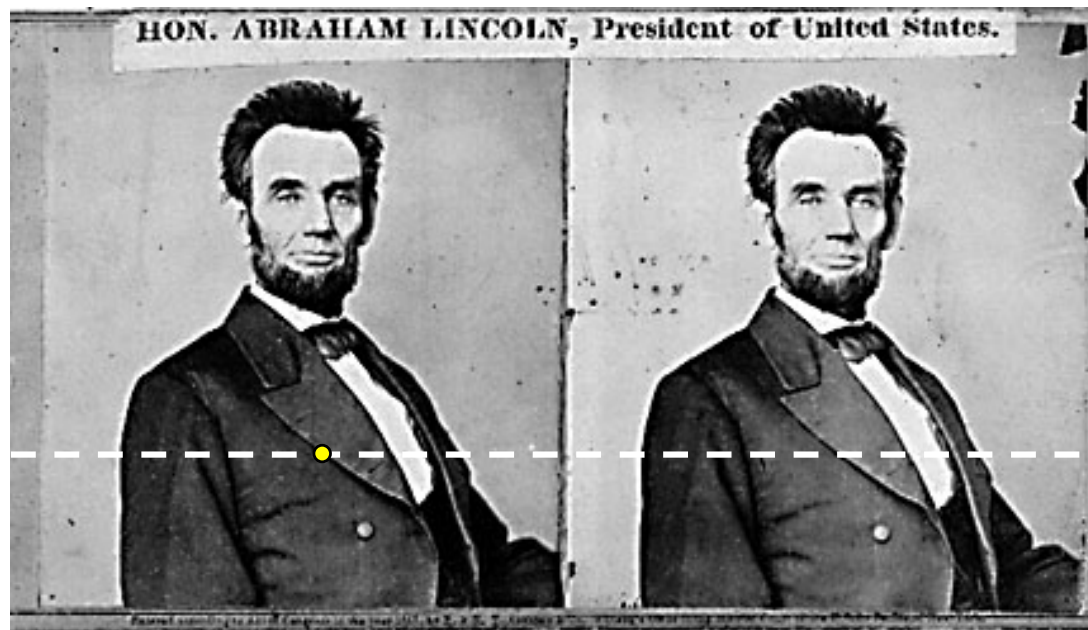


Algoritmo estéreo básico



Para cada linha epipolar faça:

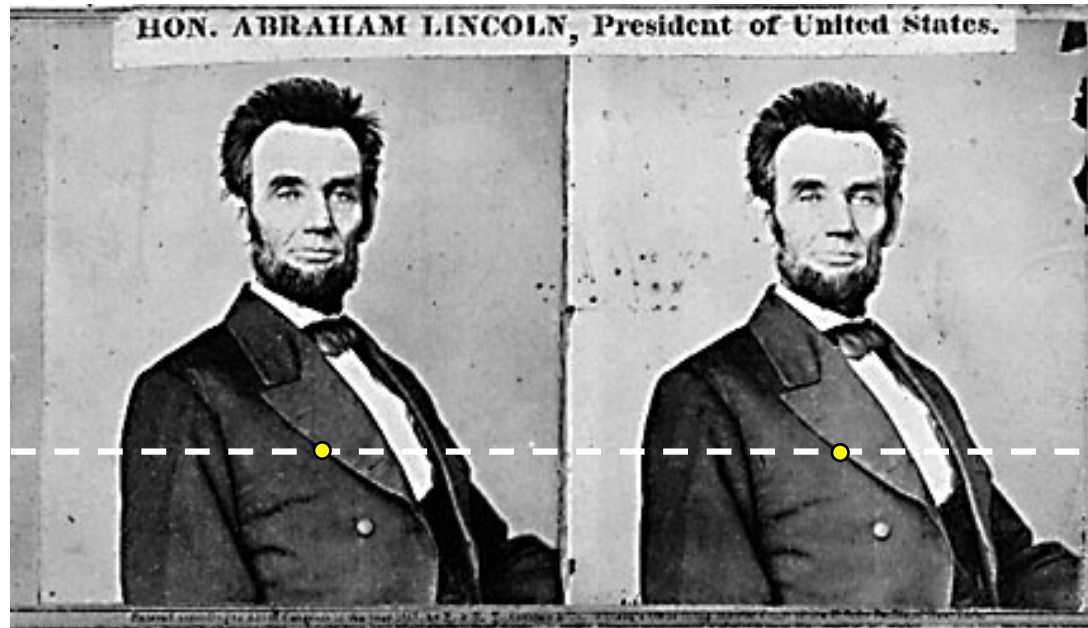
Algoritmo estéreo básico



Para cada linha epipolar faça:

Para cada pixel na imagem da esquerda faça:

Algoritmo estéreo básico

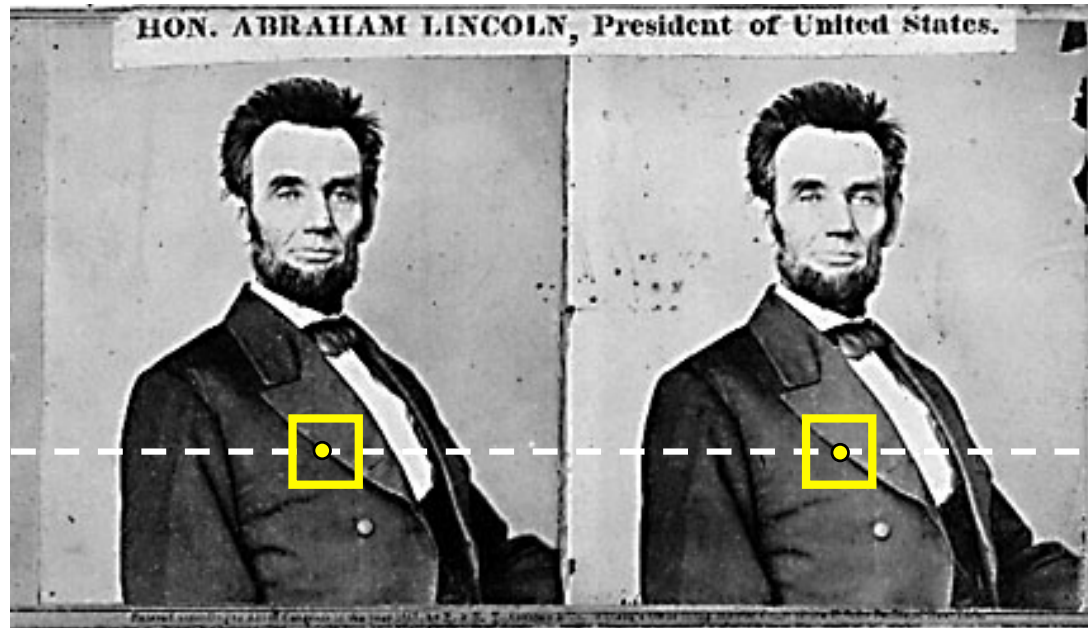


Para cada linha epipolar faça:

Para cada pixel na imagem da esquerda faça:

- compare com cada pixel na mesma linha epipolar na imagem direita

Algoritmo estéreo básico

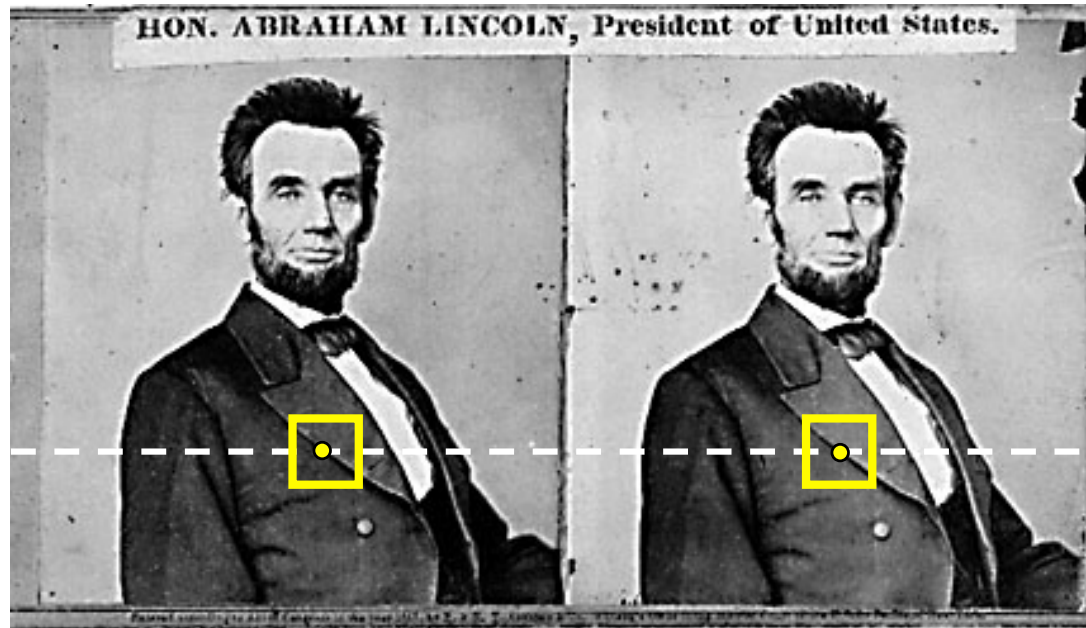


Para cada linha epipolar faça:

Para cada pixel na imagem da esquerda faça:

- compare com cada pixel na mesma linha epipolar na imagem direita
- Escolha o pixel com mínimo custo de matching;

Algoritmo estéreo básico



Para cada linha epipolar faça:

Para cada pixel na imagem da esquerda faça:

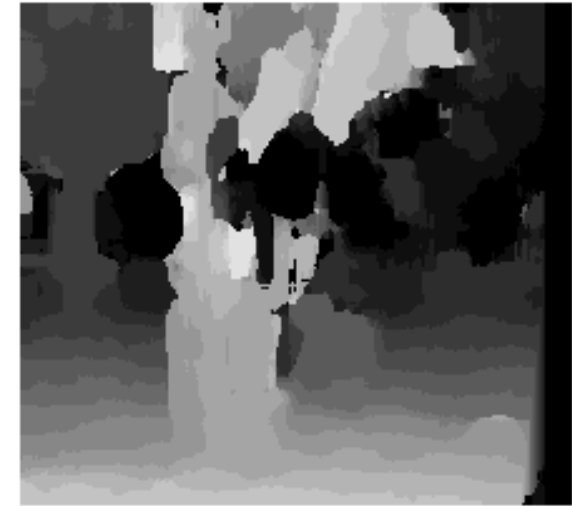
- compare com cada pixel na mesma linha epipolar na imagem direita
- Escolha o pixel com mínimo custo de matching;

Melhoria: ***window matching (Template Matching)***

Tamanho da Janela



$W = 3$



$W = 20$

Efeitos do tamanho da janela:

- Pequenas janelas
+ detalhes e + ruído
- Grandes janelas
- detalhes e - ruído

Resultados “Estéreo”

- Dados da University of Tsukuba
- Resultados similares em outras imagens sem ground truth

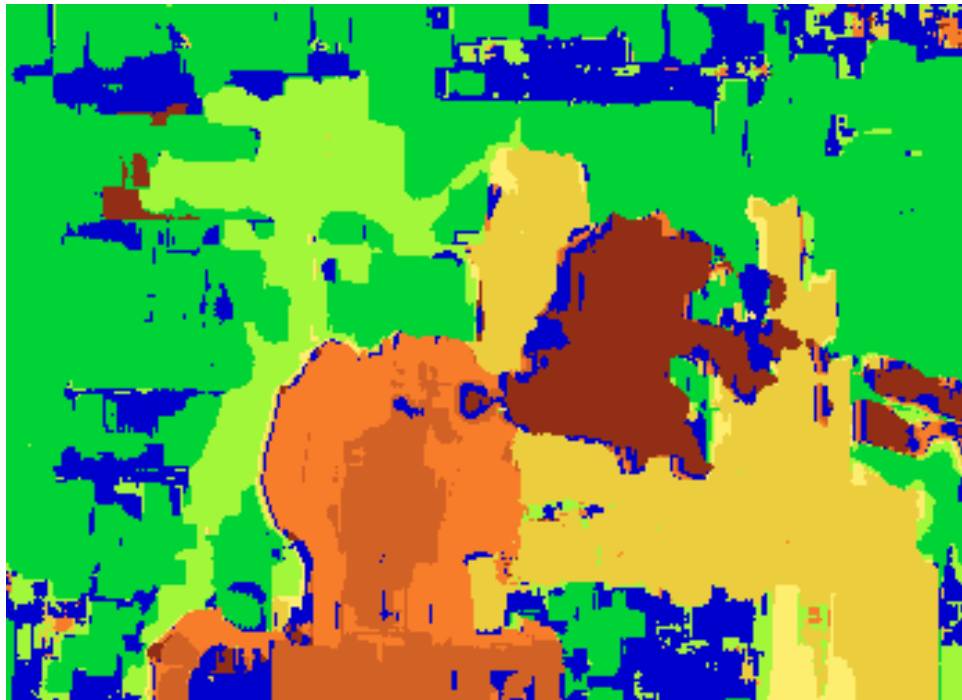


Scene



Ground truth

Resultados com window search



Window-based matching
(best window size)



Ground truth

Existem métodos melhores...



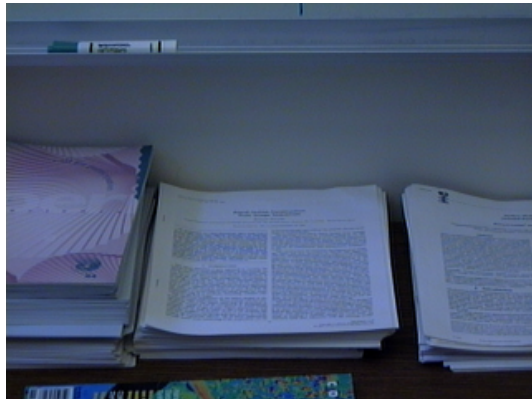
State of the art method

Boykov et al., [Fast Approximate Energy Minimization via Graph Cuts](#),
International Conference on Computer Vision, September 1999.



Ground truth

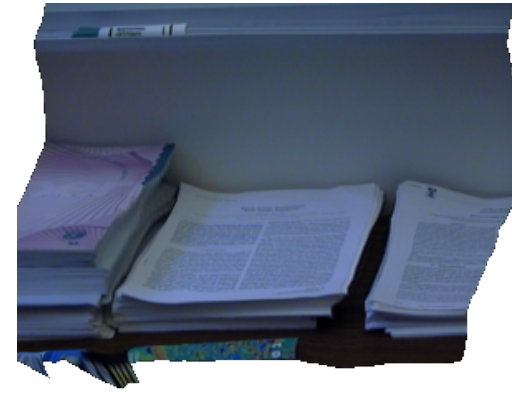
Profundidade a partir da Disparidade



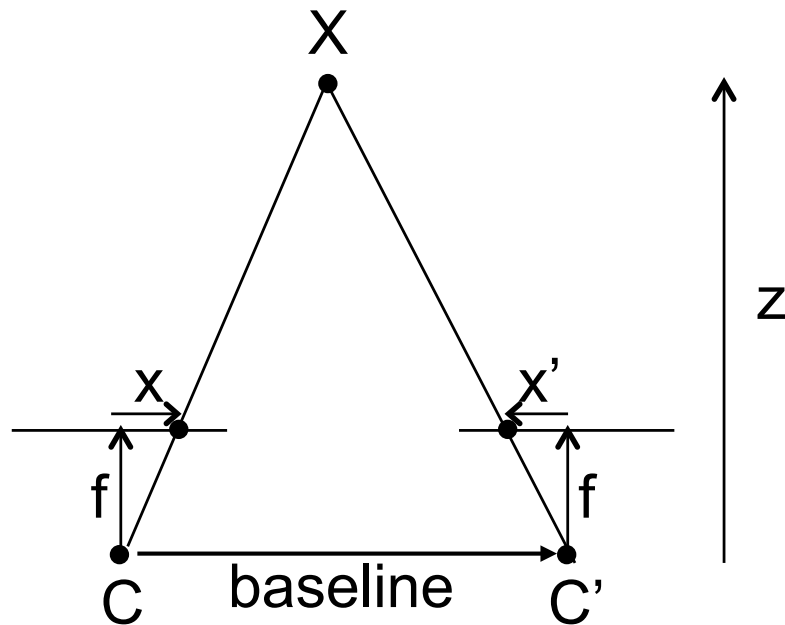
input image (1 of 2)



depth map
[Szeliski & Kang '95]



3D rendering



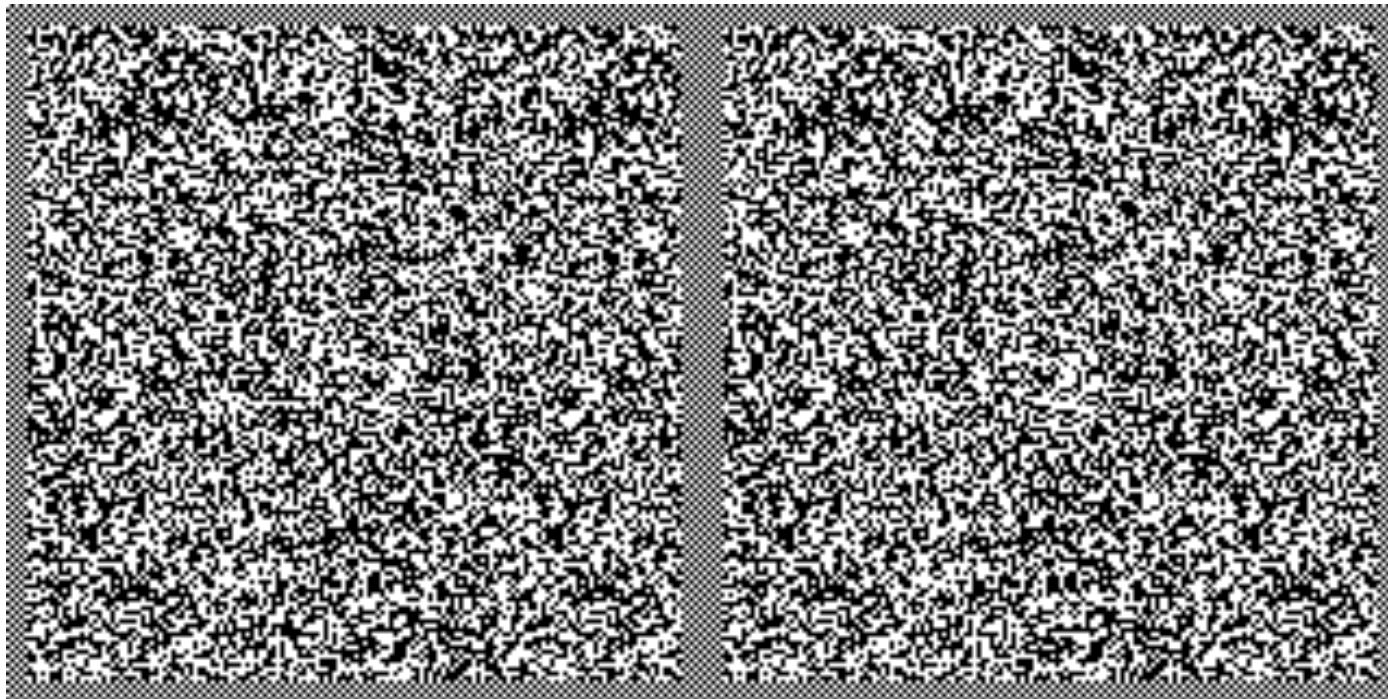
$$disparity = x - x' = \frac{baseline * f}{z}$$

Estágios para a reconstrução estéreo

- Passos:
 - Calibrar as câmeras
 - Retificar as imagens
 - Computar a Disparidade
 - Estimar a Profundidade
- Causadores de Erros:
 - Erros de calibração
 - Imagens em baixa resolução
 - Oclusões
 - Variações “bruscas” na intensidade de brilho
 - “Grande” movimento
 - Regiões com baixo contraste

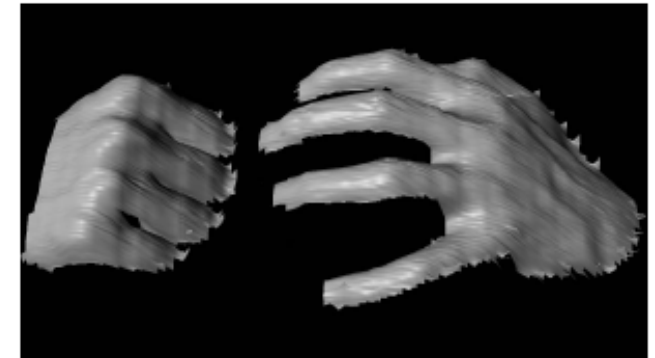
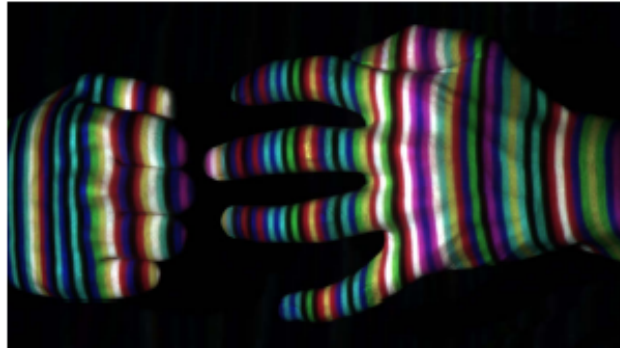
Matching Estéreo

- Necessário textura para o “matching

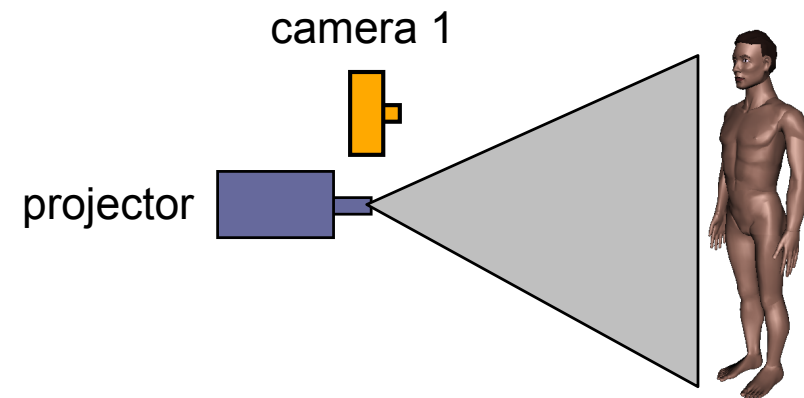
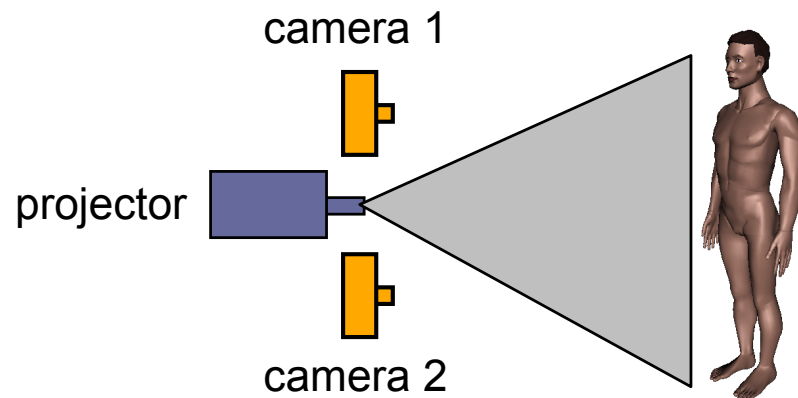


Julesz-style Random Dot Stereogram

Estéreo Ativo

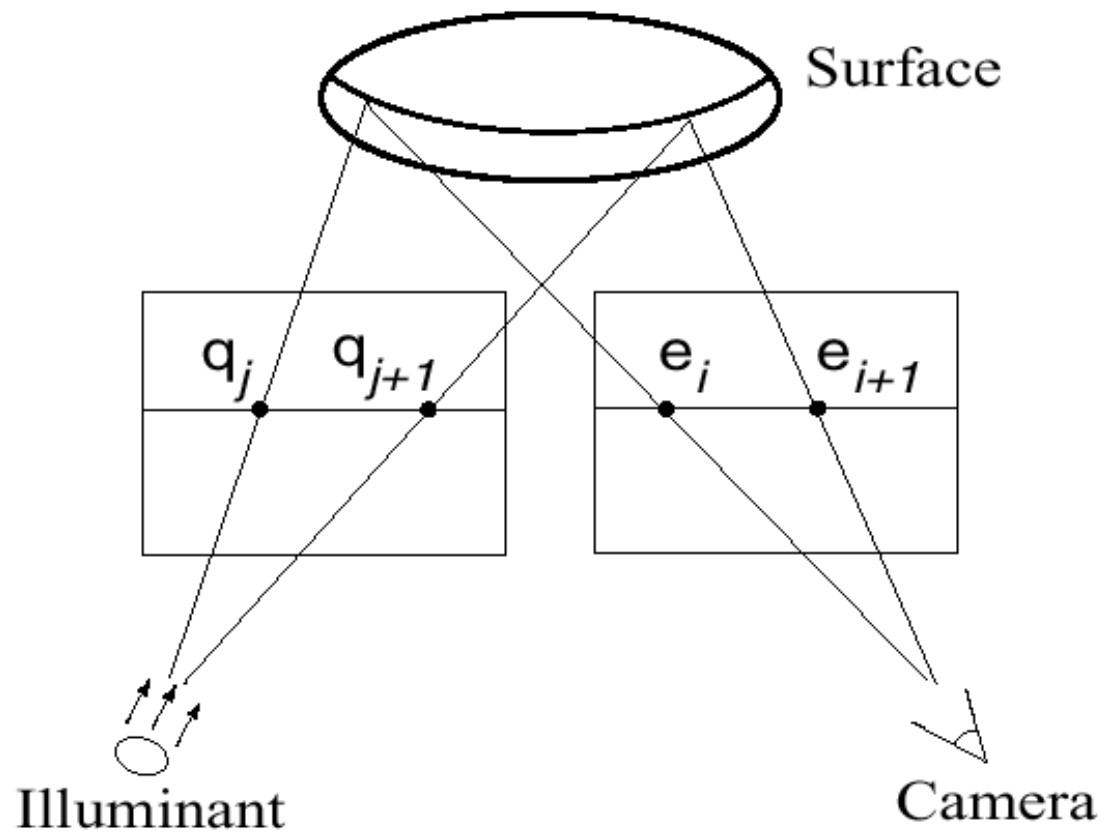


Li Zhang's one-shot stereo

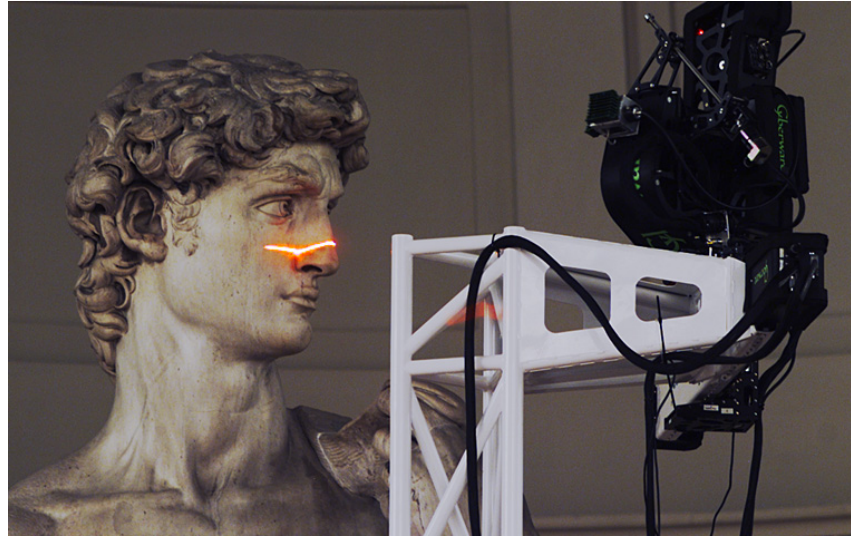


- Projeta-se padrões de Luz “estruturada” sobre o objeto
 - Simplifica o problema da correspondência

Estéreo Ativo com Iluminação Estruturada



Escaneamento a Laser

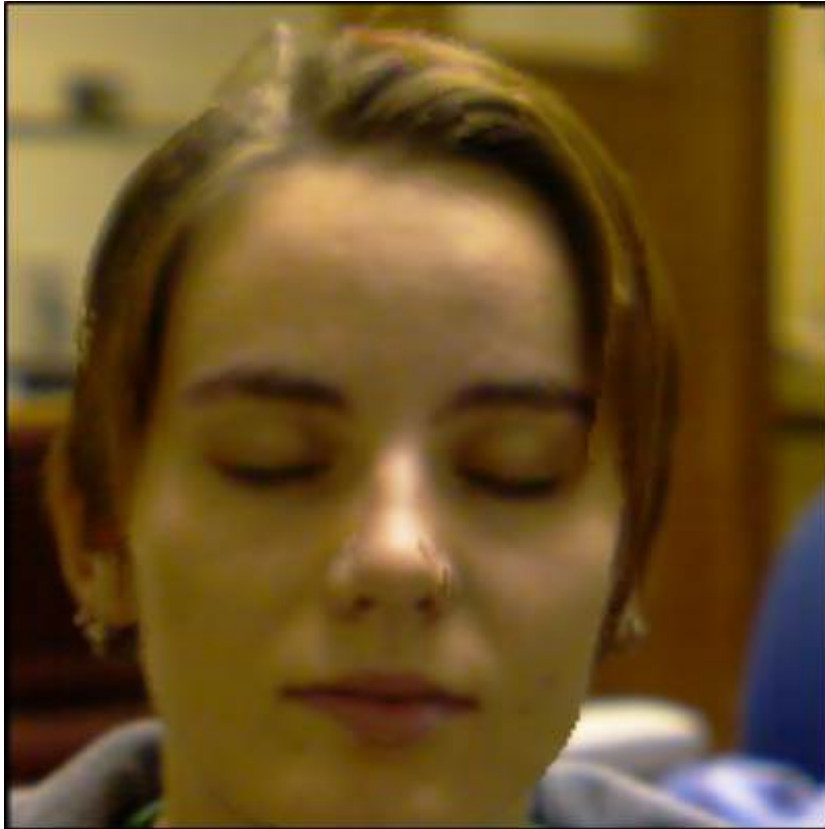


Digital Michelangelo Project

<http://graphics.stanford.edu/projects/mich/>

- Triangulação Óptica
 - Projete uma faixa de luz (laser)
 - Escaneie a superfície do objeto
 - Sistema com luz estruturada muito preciso

Portable 3D laser scanner (Minolta)



Estéreo em Tempo Real



Nomad robot searches for meteorites in Antartica
<http://www.frc.ri.cmu.edu/projects/meteorobot/index.html>

- Usado para navegação robótica
 - Diversos softwares tem sido desenvolvidos atualmente

Tempo + Precisão

- Point Grey
 - Bumblebee XB3





Próxima aula...

- Cores...