# Pipeline de renderização

Transformações Modelagem

Iluminação (*Shading*)

Transformação Câmera

Recorte

Projeção

Rasterização

Visibilidade

A história até aqui...

Adaptação e melhoramentos de uma aula sobre o mesmo assunto (MIT - EECS 6.837 Durand and Cutler)

Transformações Modelagem

Iluminação (*Shading*)

Transformação Câmera

Recorte

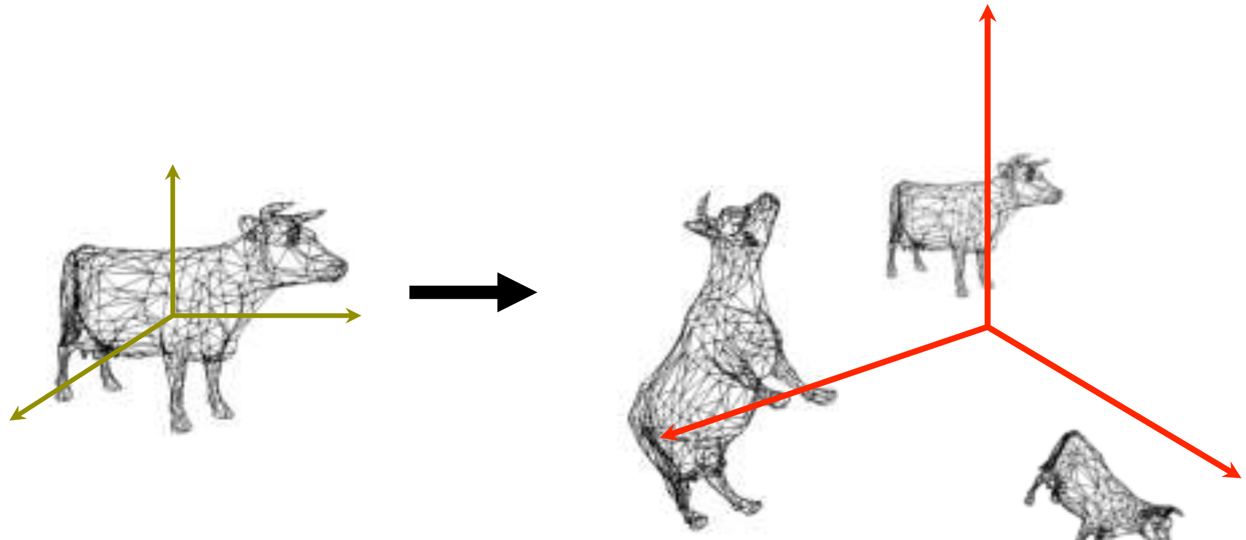
Projeção

Rasterização

Visibilidade

✓Objetos definidos no seu próprio sistema de coordenadas

✓Transformações de modelagem orientam os modelos geométricos num sistema comum de coordenadas (UNIVERSO)



Coordenadas Objeto

Coordenadas Universo

- Transformações Modelagem
- **Iluminação (*Shading*)**
- Transformação Câmera
- Recorte
- Projeção
- Rasterização
- Visibilidade

✓Vértices iluminados de acordo com as propriedades geométricas e de material

✓Modelo de Iluminação Local

Transformações Modelagem

Iluminação (*Shading*)

**Transformação Câmera**

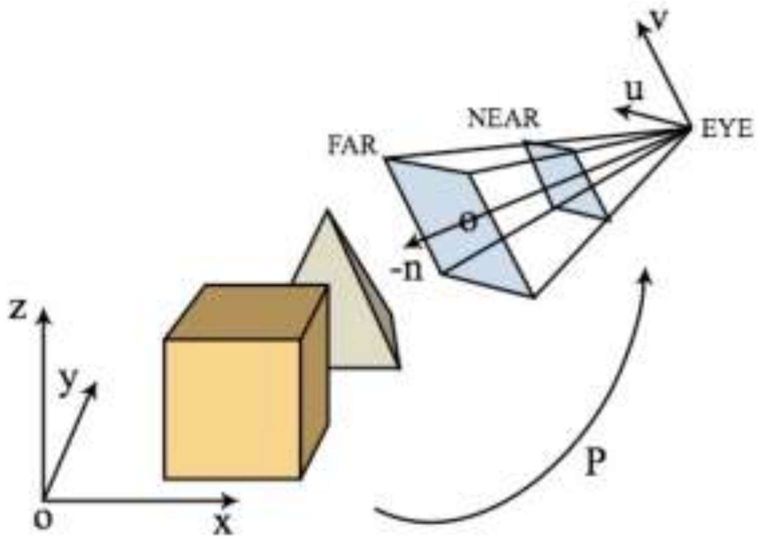
Recorte

Projeção

Rasterização

Visibilidade

✓Mapeamento de coordenadas de Universo para câmera



Transformações Modelagem

Iluminação (*Shading*)

Transformação Câmera

Recorte

**Projeção**

Rasterização

Visibilidade

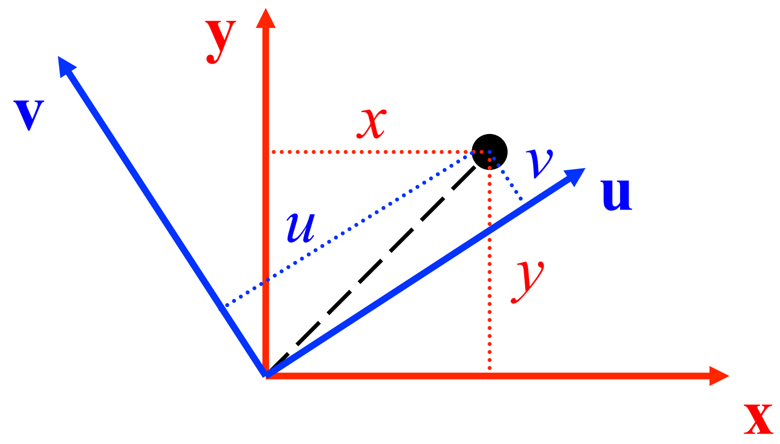
✓Escolha da projeção: perspectiva ou ortográfica

*Já vimos Recorte 2D em aulas anteriores. Precisamos apenas ver a extensão para 3D

# Transformação de Câmera

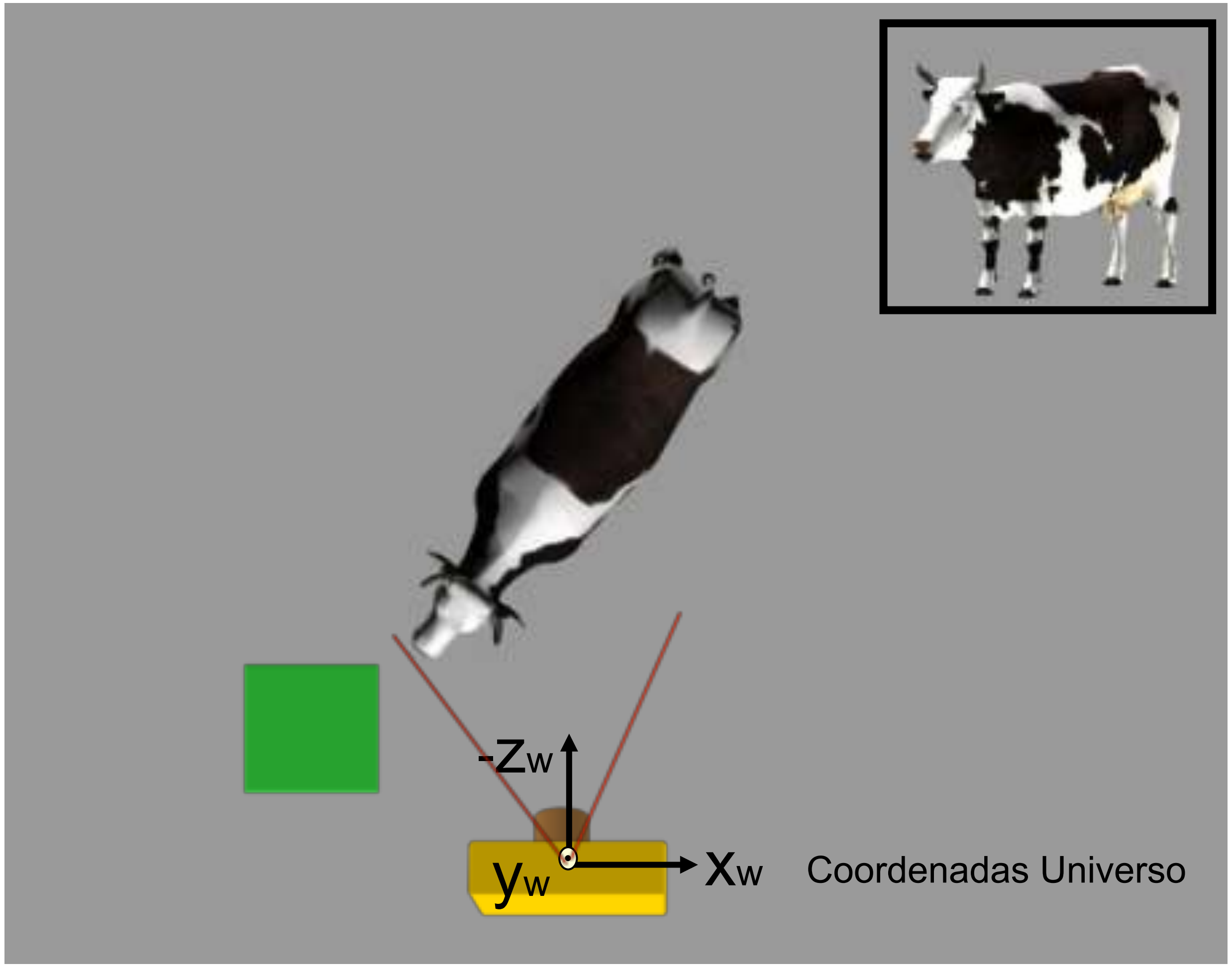
- Transformar as coordenadas, ou seja, dado os sistemas de coordenadas xyz e uvn e um ponto p=(x,y,z) encontrar p=(u,v,n)

Em 2D esquematicamente:



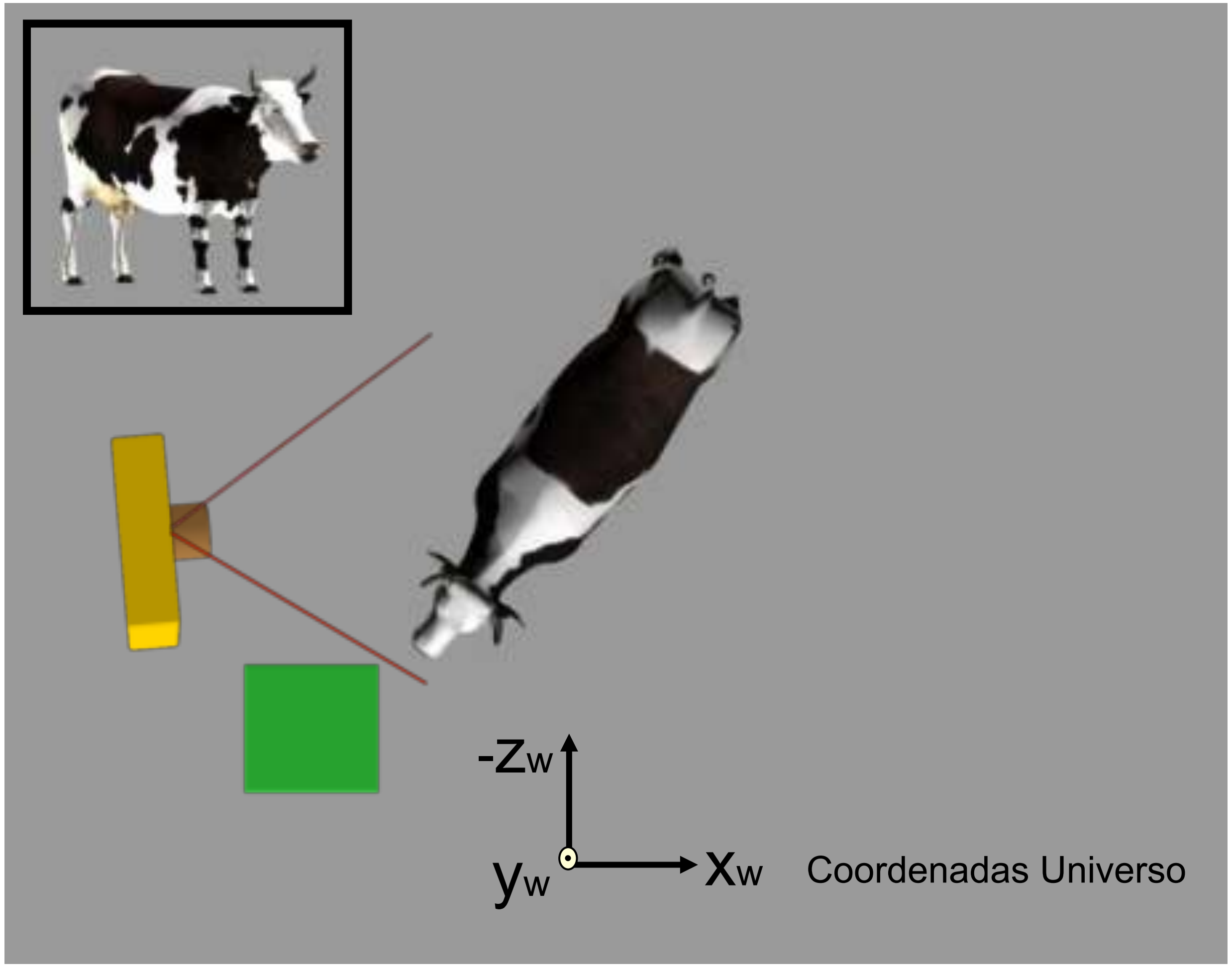

A posição espacial do ponto não muda. Suas coordenadas são expressas em outro sistema

# Mudando a posição do observador




Modificado de M.M. Oliveira

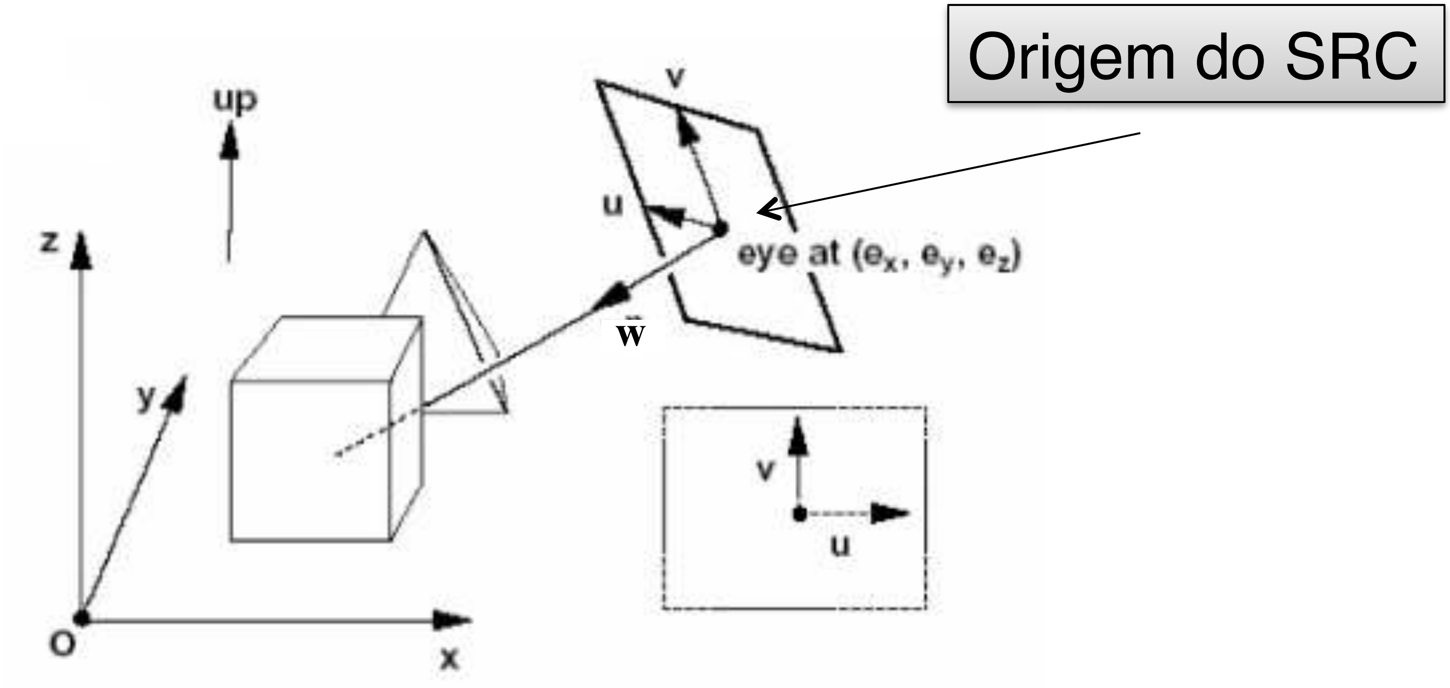
# Mudando a posição do observador




Modificado de M.M. Oliveira

# Sist. Referência Câmera (SRC)

- Envolve uma translação à origem do novo sistema e uma mudança de base ortogonal

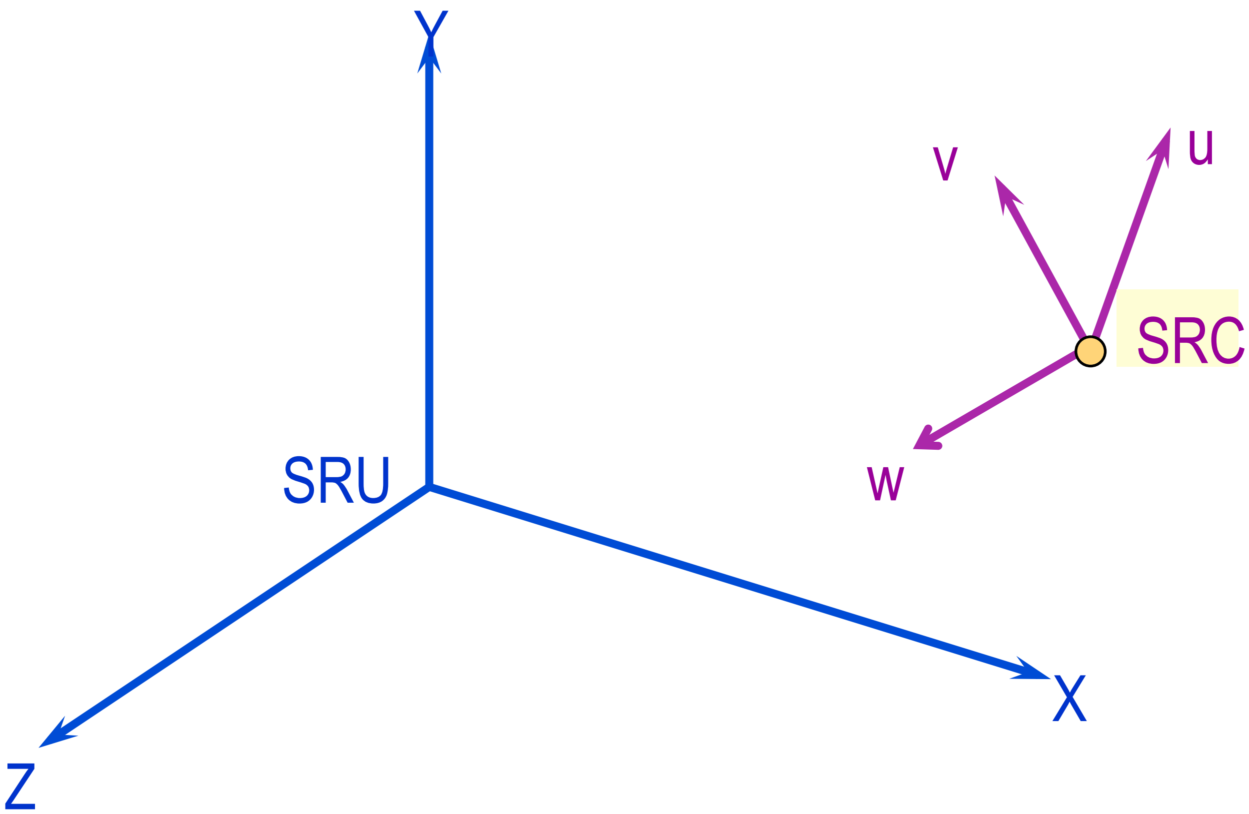


# Definindo o SRC

- Precisamos especificar:
  - Origem do SRC: ponto qualquer no espaço
  - Direção para onde a câmera está apontando
  - Direção “para cima”: up vector

- A partir destas três informações um sistema de coordenadas ortogonal pode ser estabelecido

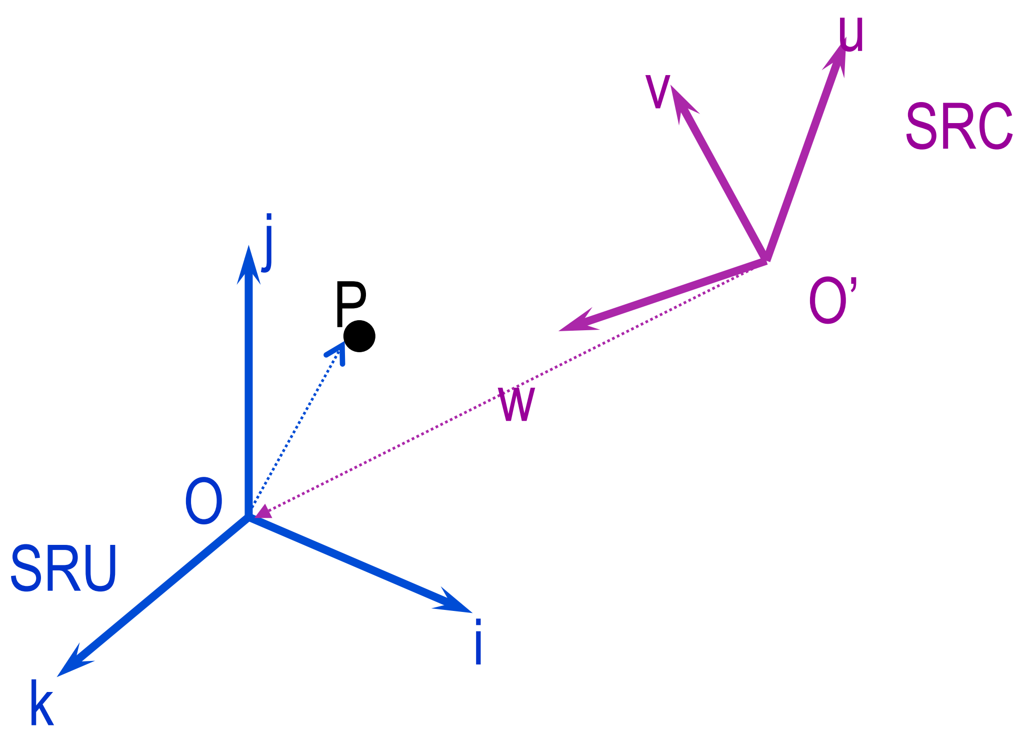
# Sistema de referência da câmera (SRC)




IMPORTANTE:

SRU é “mão direita” e o SRC é “mão esquerda”

# Transformação SRU → SRC




$$P = O' + x_c u + y_c v + z_c w = (x, y, z)_{SRC}$$

$$P = O + x_u i + y_u j + z_u k = (x, y, z)_{SRU}$$

# Transformação SRU → SRC

$$P = O + x_u i + y_u j + z_u k = (x, y, z)_{SRU}$$

$$P = O + [\, i \;\; j \;\; k \,] \begin{bmatrix} x_u \\ y_u \\ z_u \end{bmatrix}$$

$$P = O' + x_c u + y_c v + z_c w = (x, y, z)_{SRC}$$

$$P = \underbrace{[\, i \;\; j \;\; k \,] \begin{bmatrix} x_{o'} \\ y_{o'} \\ z_{o'} \end{bmatrix}}_{O'} + [\, u \;\; v \;\; w \,] \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix}$$

# Expressando a base do SRC em relação ao SRU

$$\mathbf{u} = a_{11}\mathbf{i} + a_{21}\mathbf{j} + a_{31}\mathbf{k}$$
$$\mathbf{v} = a_{12}\mathbf{i} + a_{22}\mathbf{j} + a_{32}\mathbf{k}$$
$$\mathbf{w} = a_{13}\mathbf{i} + a_{23}\mathbf{j} + a_{33}\mathbf{k}$$

$$[\, u \; v \; w \,] = [\, i \;\; j \;\; k \,] \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}$$

$$[\, u \; v \; w \,] = [\, i \;\; j \;\; k \,]\, B$$

B = Matriz mudança de Base

# Transformando...

$$O + [\,i \;\; j \;\; k\,] \begin{bmatrix} x_u \\ y_u \\ z_u \end{bmatrix} = [\,i \;\; j \;\; k\,] \begin{bmatrix} x_{o'} \\ y_{o'} \\ z_{o'} \end{bmatrix} + [\,u \;\; v \;\; w\,] \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix}$$

$$[\,i \;\; j \;\; k\,] \begin{bmatrix} x_u \\ y_u \\ z_u \end{bmatrix} = [\,i \;\; j \;\; k\,] \begin{bmatrix} x_{o'} \\ y_{o'} \\ z_{o'} \end{bmatrix} + [\,i \;\; j \;\; k\,]\, B \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix}$$

# Transformando...

$$\begin{bmatrix} x_u \\ y_u \\ z_u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{o'} \\ y_{o'} \\ z_{o'} \end{bmatrix} + B \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix}$$

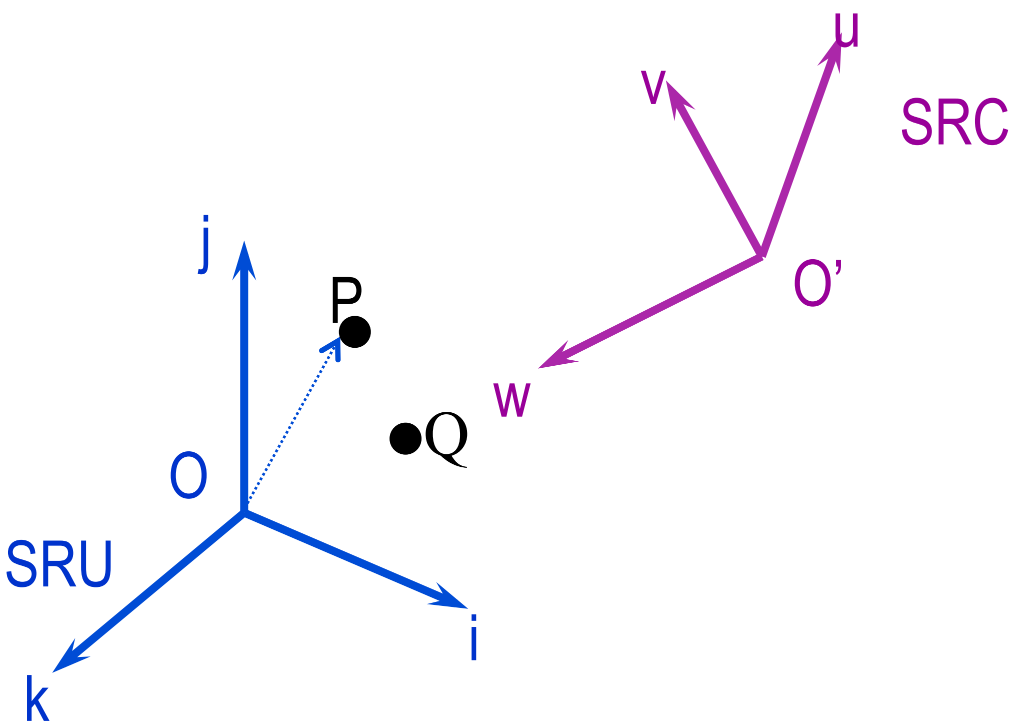
$$\begin{bmatrix} x_u \\ y_u \\ z_u \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_{o'} \\ y_{o'} \\ z_{o'} \end{bmatrix} = B \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix}$$

# Finalmente...

$$B^{-1} \begin{bmatrix} x_u - x_{o'} \\ y_u - y_{o'} \\ z_u - z_{o'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix}$$

- Considerando propriedades das bases vetoriais em uso:
  - $B^{-1} = B^T$

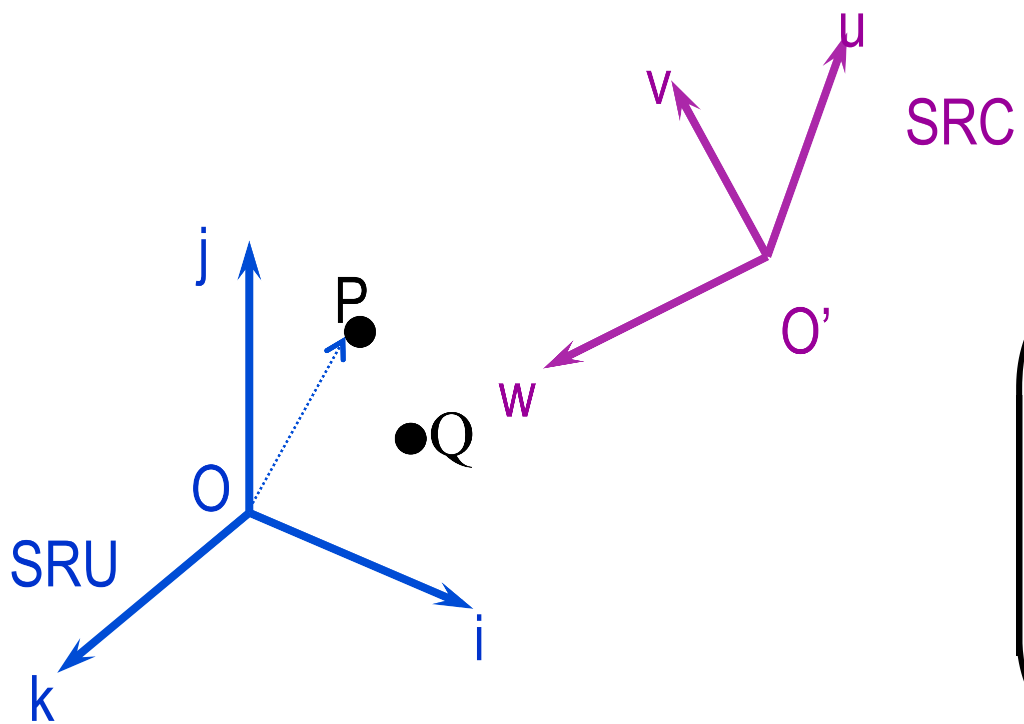
# Como calcular a matriz B?




- Dados
  - up vector
  - O'
  - Alvo (O ou outro ponto qualquer Q)

# Como calcular a matriz B?

- w = normalize(O'-O)
- u = w x (up vector)
- v = u x w

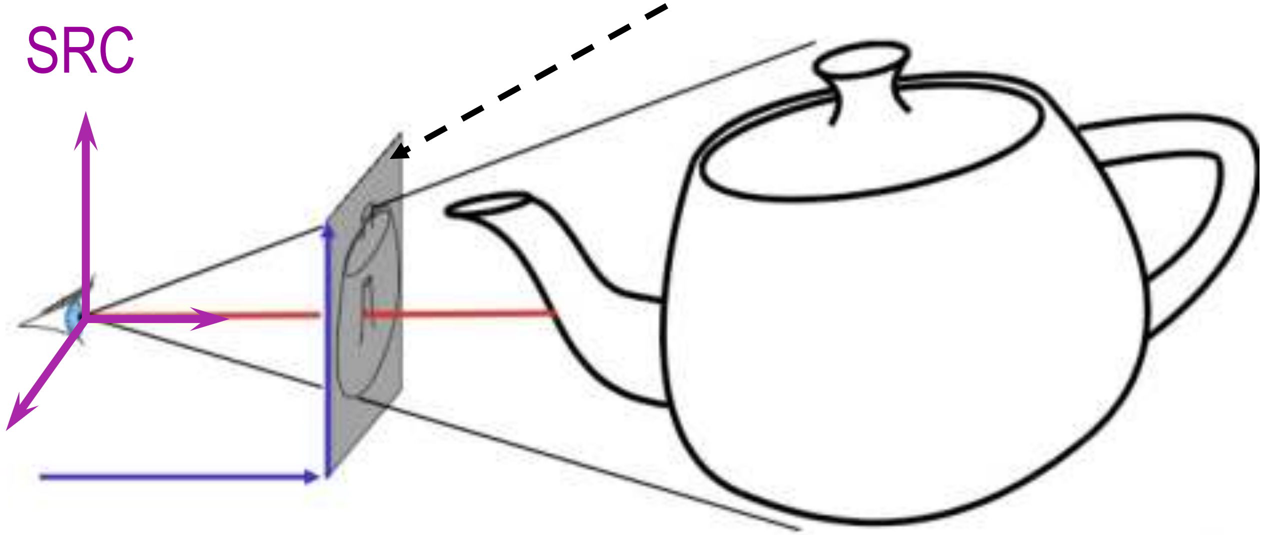



$$\begin{pmatrix} u_i & u_j & u_k \\ v_i & v_j & v_k \\ w_i & w_j & w_k \end{pmatrix}$$

Todos normalizados

# Projeções

- Como é obtida a imagem do objeto no plano de projeção?



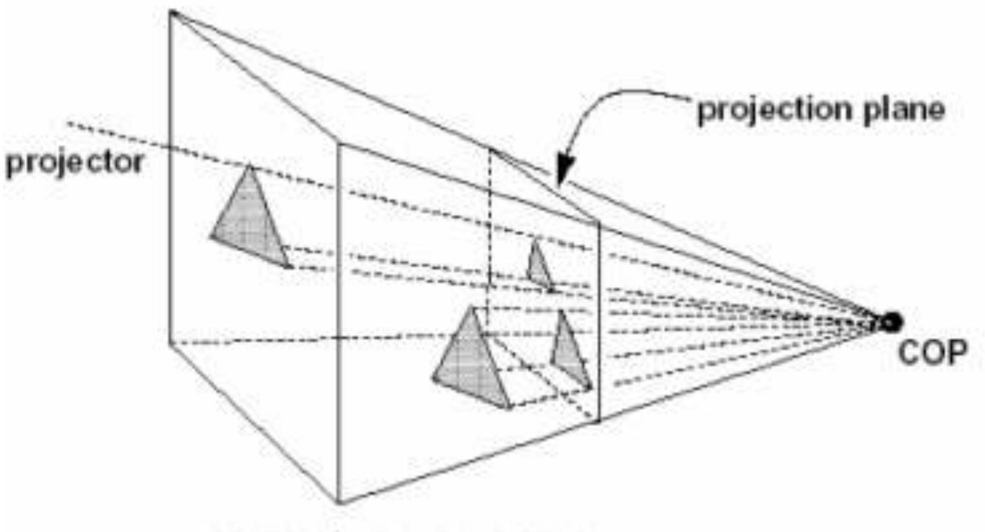

*Redução de dimensão*

# Projeções

- Genericamente, projeções transformam pontos em um sistema de coordenadas com N dimensões em pontos num sistema com dimensão menor do que N
- Para nós interessa apenas o caso de 3D -> 2D

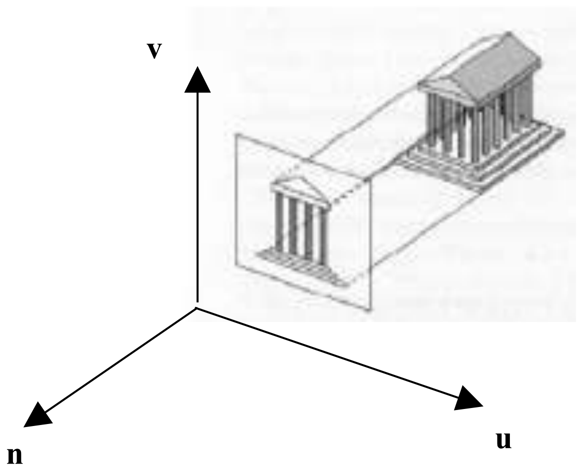
# Projeções

- Uso de linhas de projeção, denominadas *raios de projeção*
- Origem em um *centro de projeção* (COP) e passam por cada parte do objeto (no nosso caso vértices) interseccionando um *plano de projeção* onde finalmente tem-se as coordenadas 2D



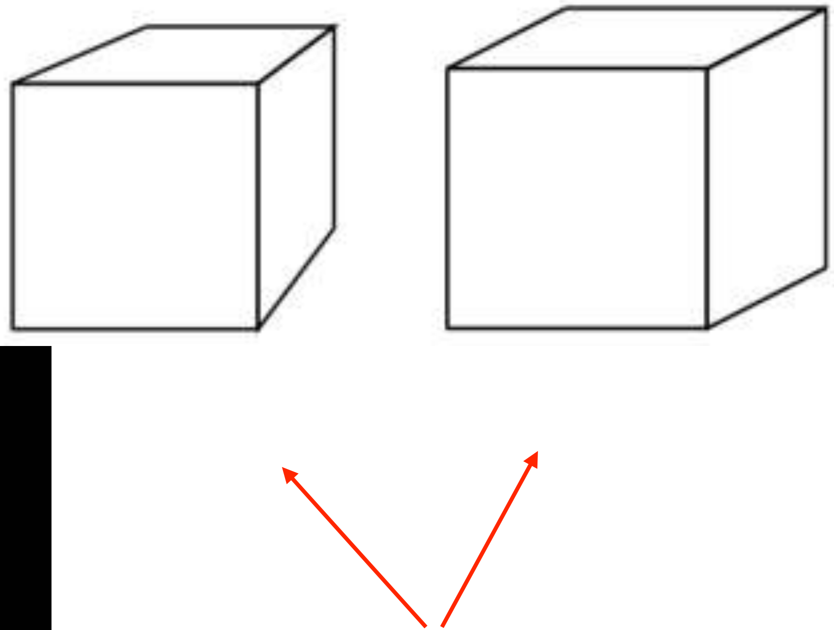
# Tipos de Projeções

- Em CG 2 tipos: perspectiva e ortográfica
- Diferença: na projeção ortográfica o COP está no infinito, logo os raios de projeção são paralelos uns aos outros

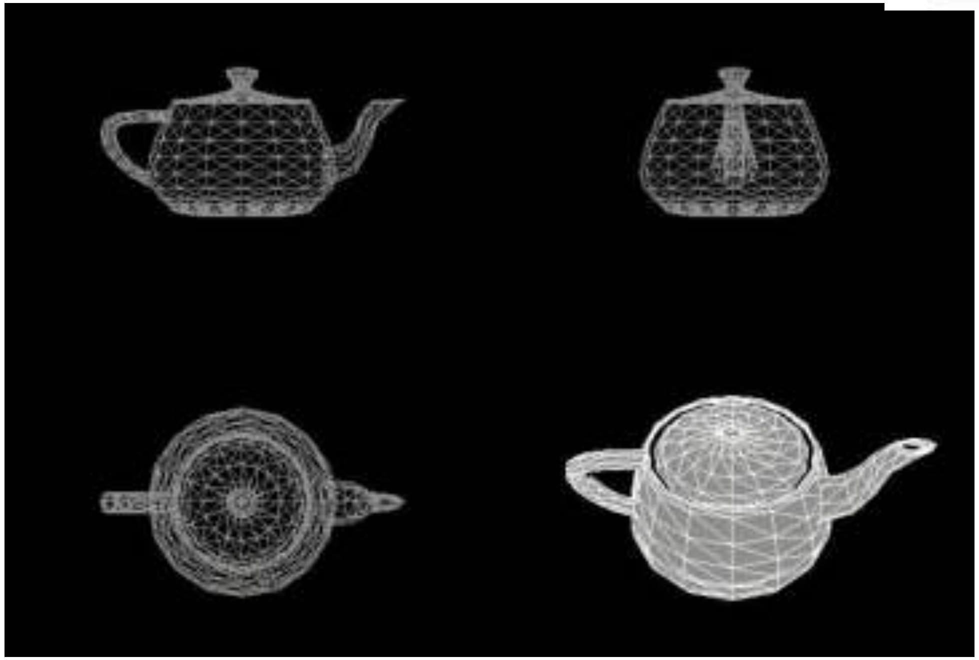


# Tipos de Projeções

- Diferença Visual



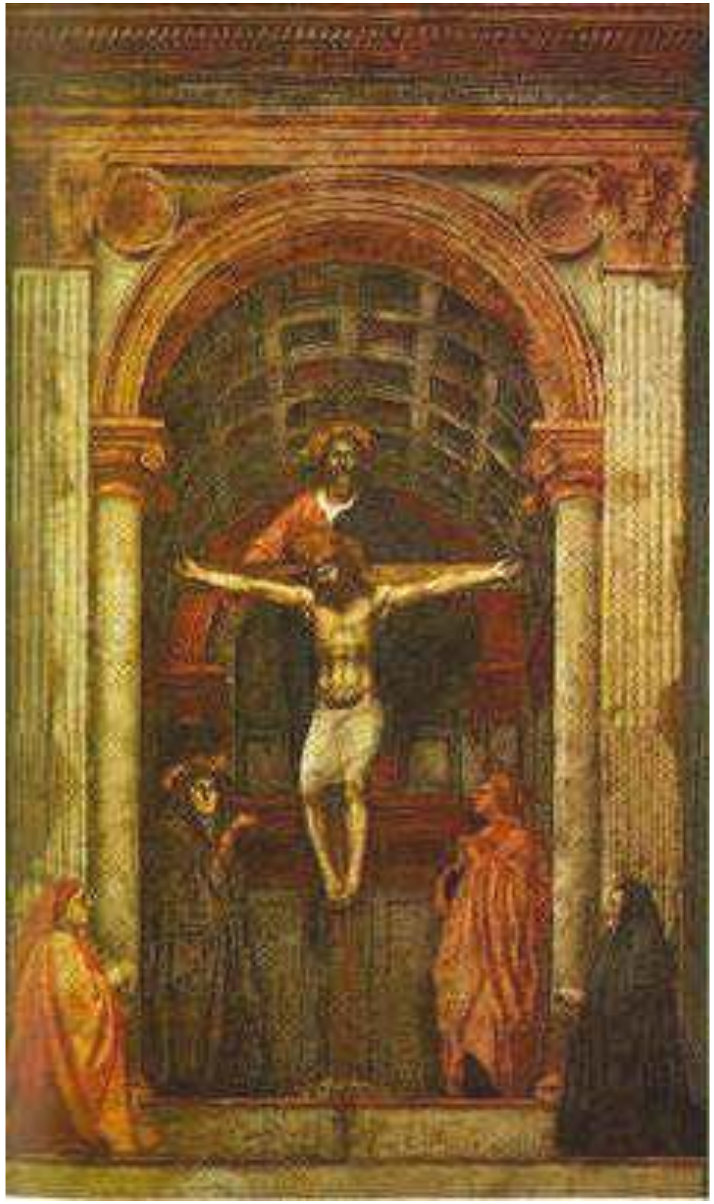
Qual é qual?



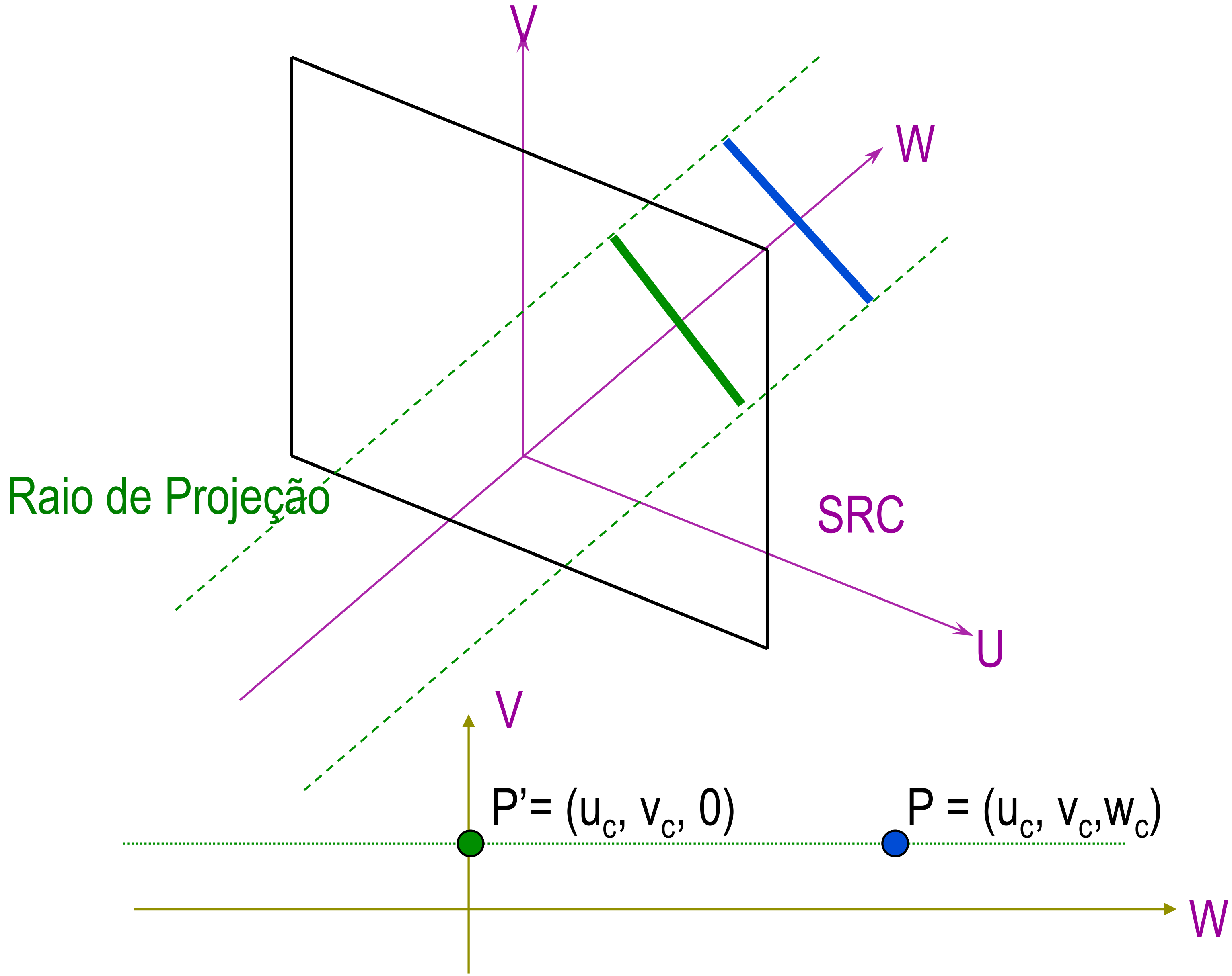
3 vistas ortográficas e uma perspectiva

# Perspectiva nas Artes

- Primeira pintura em perspectiva
  - *Trinity with the Virgin, St. John and Donors*
  - Masaccio, 1427



# Projeção Ortográfica

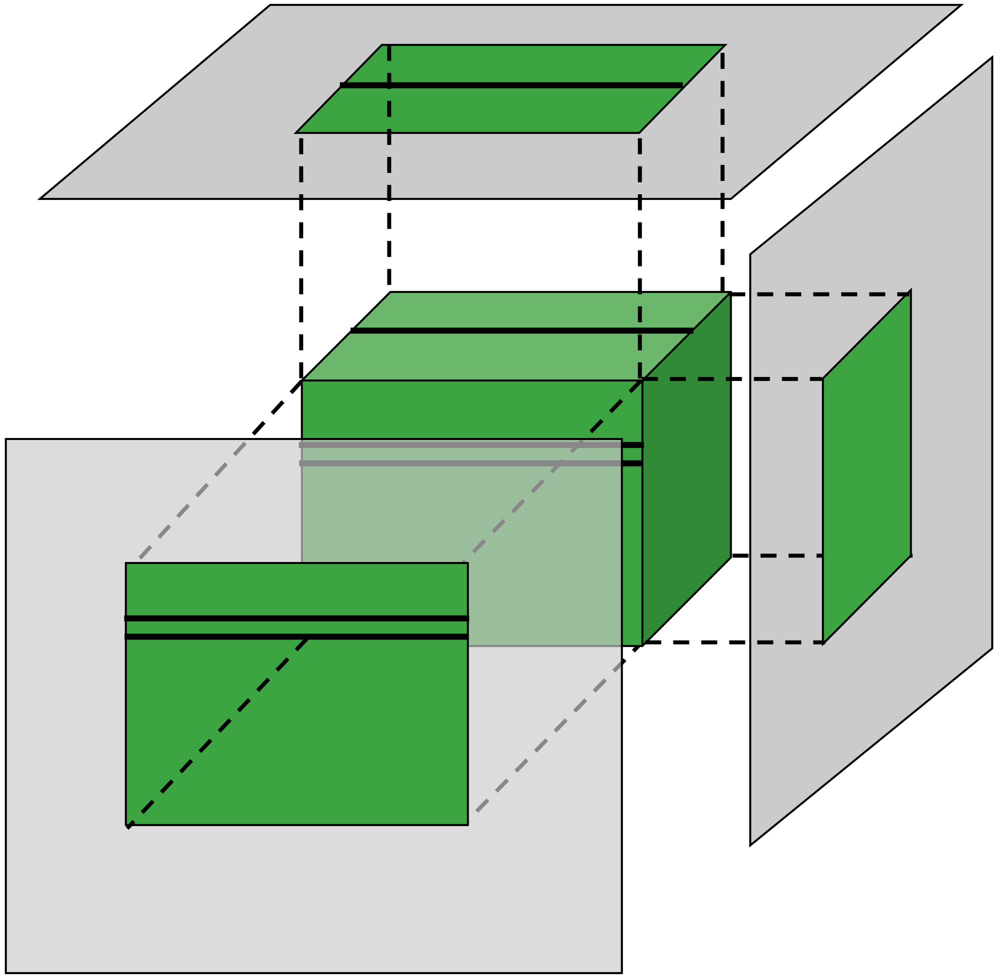


# Obtendo Coordenadas de Projeção

- Precisamos "livrar-nos" de uma dimensão
- Para projeções ortográficas é simples:
  - Basta descartarmos a coordenada equivalente a w no SRC (assumindo o plano de projeção em w = 0)

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ w \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \boxed{0} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix}$$

# Vistas ortográficas



- Mais comuns
  - Front-elevation
  - Side-elevation
  - Plan-elevation

- Direção de projeção paralela a um dos eixos principais (x, y, z)
- Plano de projeção perpendicular ao eixo

# Projeções ortográficas

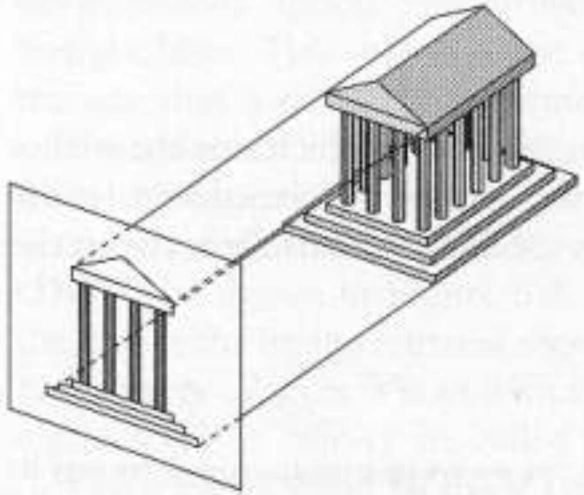


Figure 5.4 Orthographic projections.

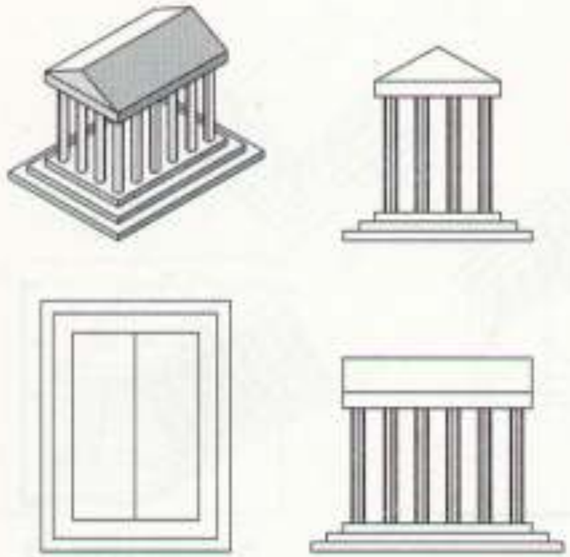


Figure 5.5 Temple and three multiview orthographic projections.

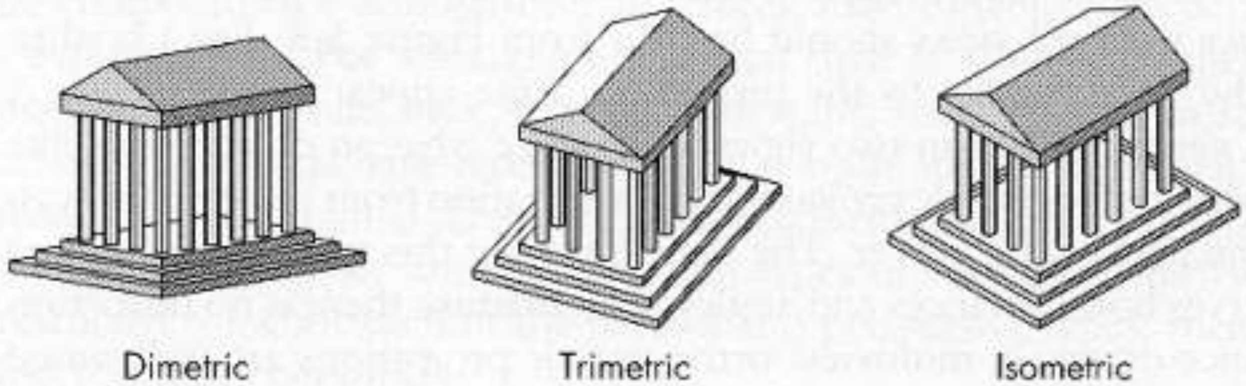



Figure 5.7 Axonometric views.

# Projeções ortográficas axonométricas

- Plano de projeção NÃO é perpendicular a um dos eixos principais
- Amostra várias faces do objeto ao mesmo tempo
- É preservado o paralelismo entre as linhas
- Não são preservados ângulos entre as linhas
- Distâncias podem ser medidas ao longo dos eixos principais (considerando fatores de escala)

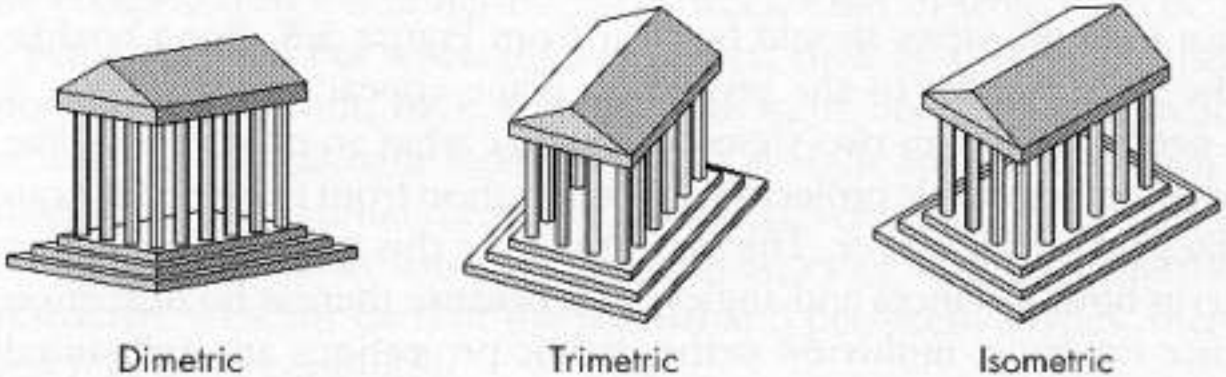
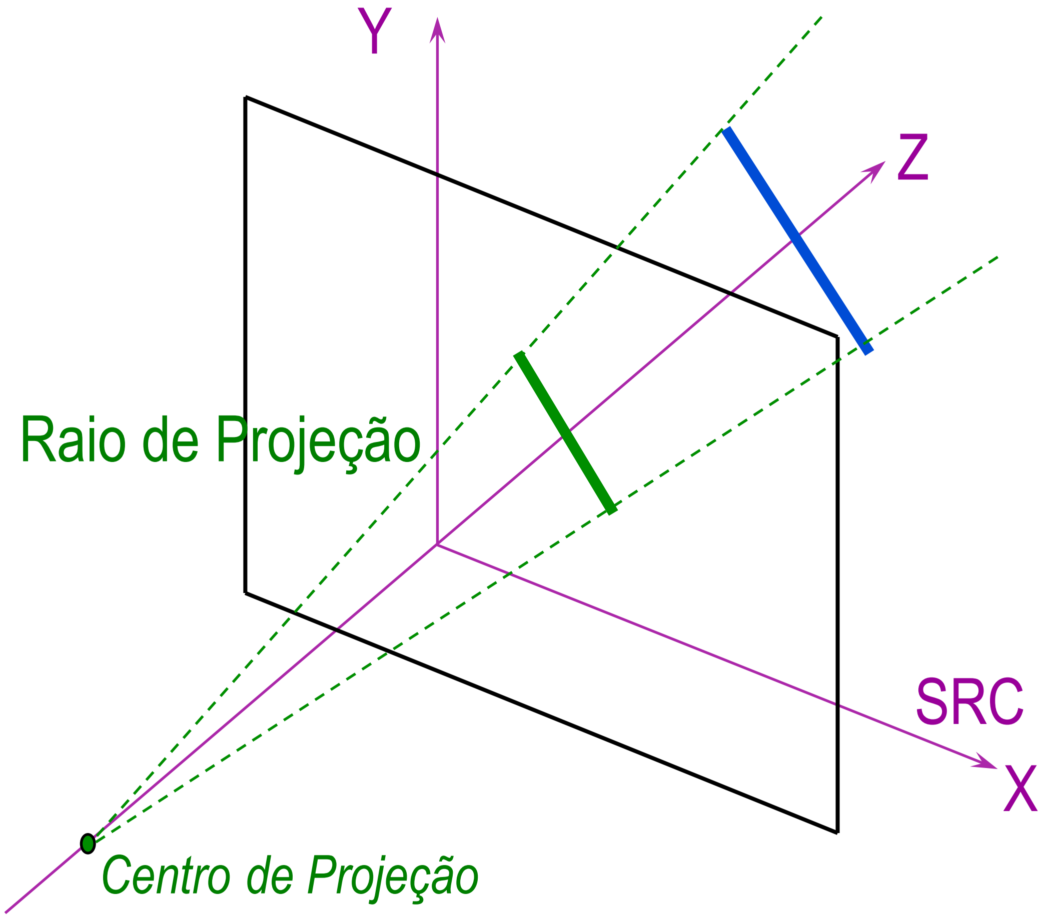



**Figure 5.7** Axonometric views.

# Projeção perspectiva



# Projeção perspectiva

- Propriedades:
  - tamanho da projeção de um objeto varia inversamente com a distância ao centro de projeção
  - Linhas paralelas, em geral, não são projetadas paralelamente
  - Ângulos só são preservados nas faces paralelas ao plano de projeção
  - Distâncias não são preservadas

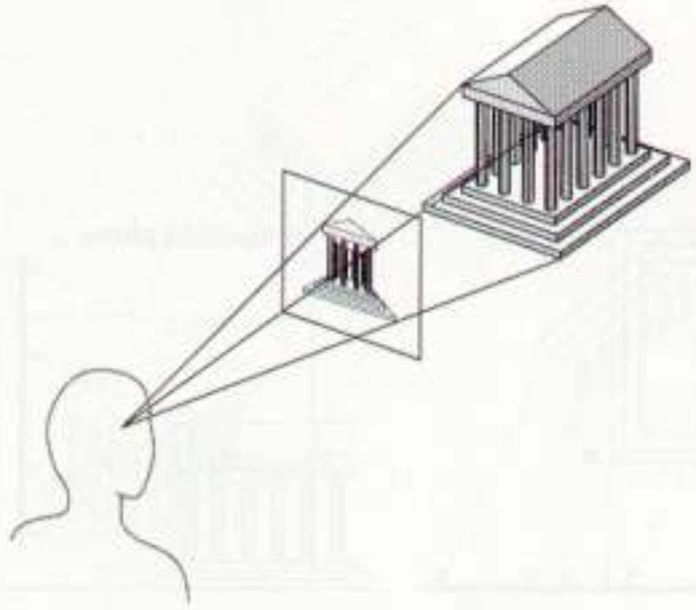


Figure 5.9 Perspective viewing.

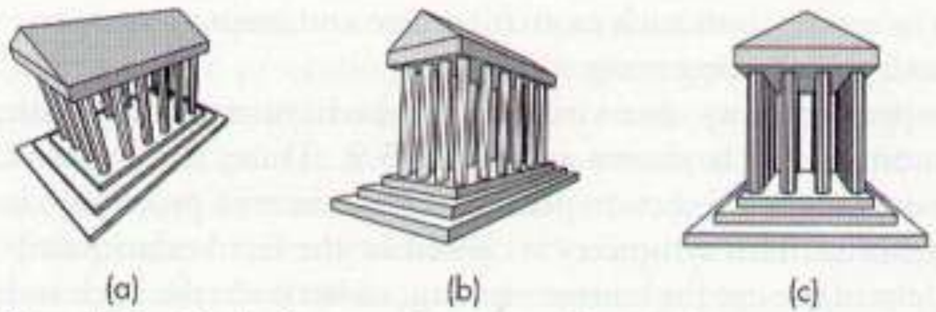
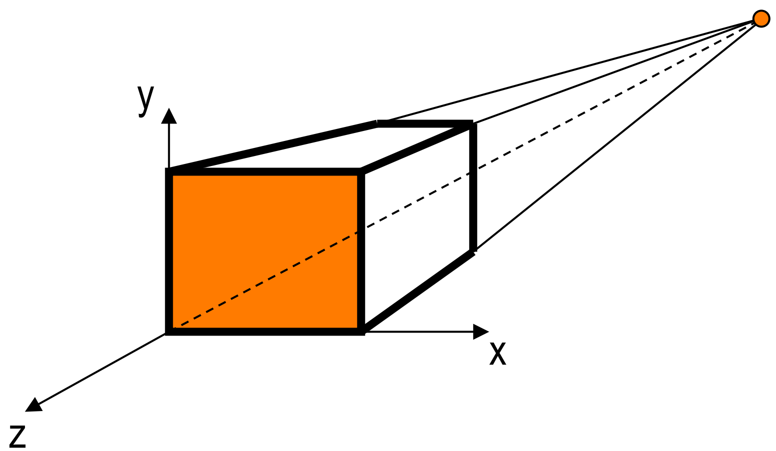
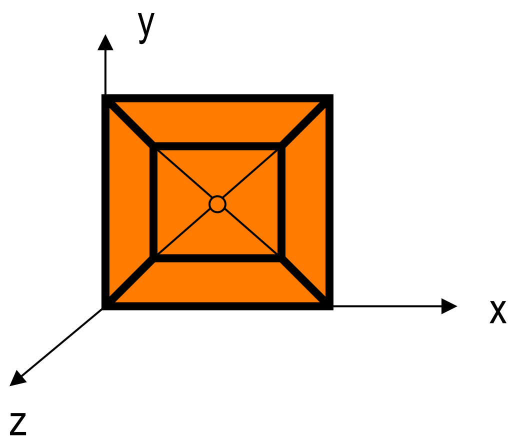


Figure 5.10 Classical perspective views: The (a) three-, (b) two-, and (c) one-point perspectives.

# Projeção perspectiva

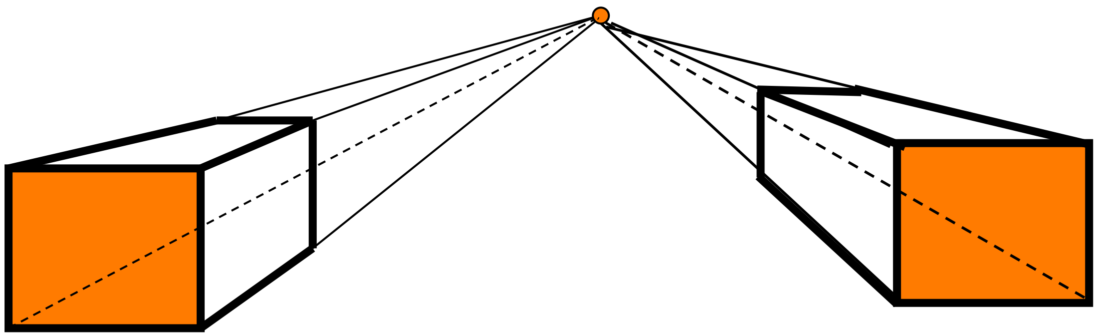
- Linhas paralelas a um eixo principal convergem para o ponto de fuga de um eixo (onde o eixo intercepta o plano de projeção)
  - Perspectiva é classificada conforme o número de pontos de fuga
  - Corresponde ao número de eixos interceptados pelo plano de projeção



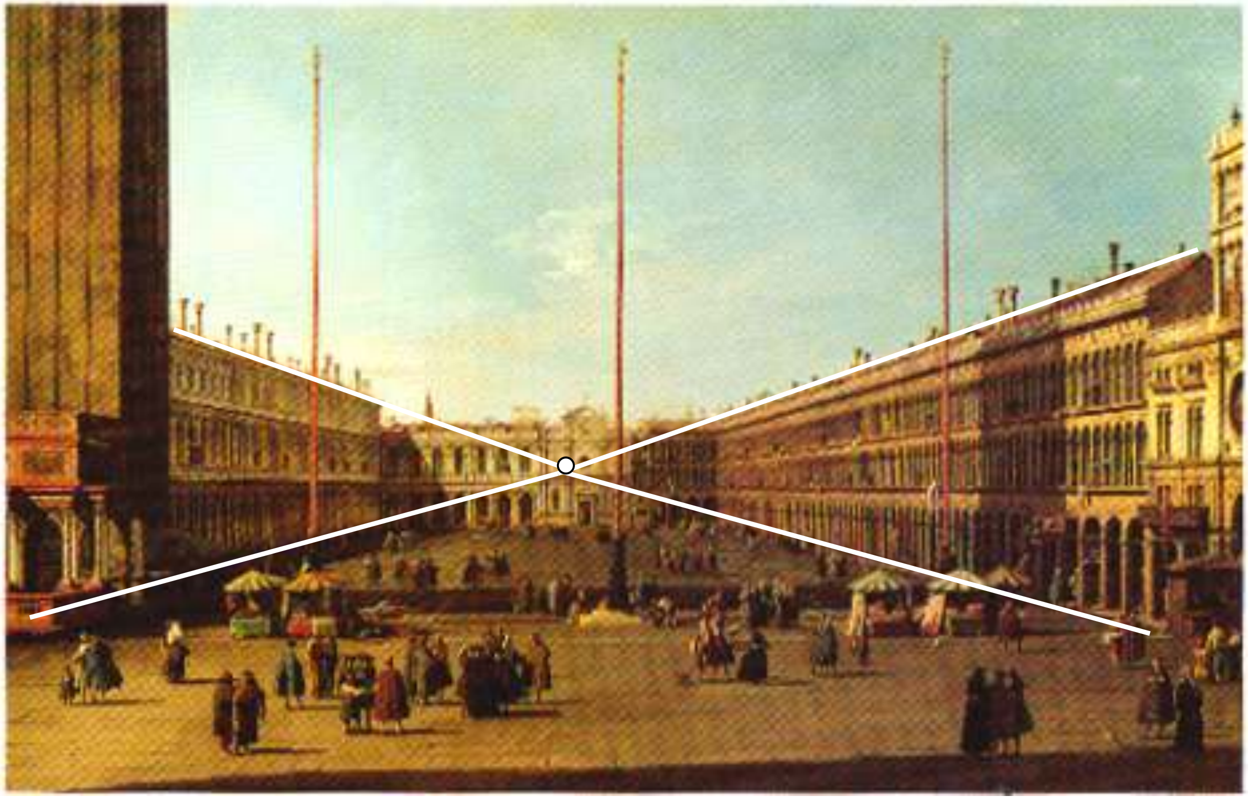



# 1-point perspective

- Plano de projeção corta apenas um eixo

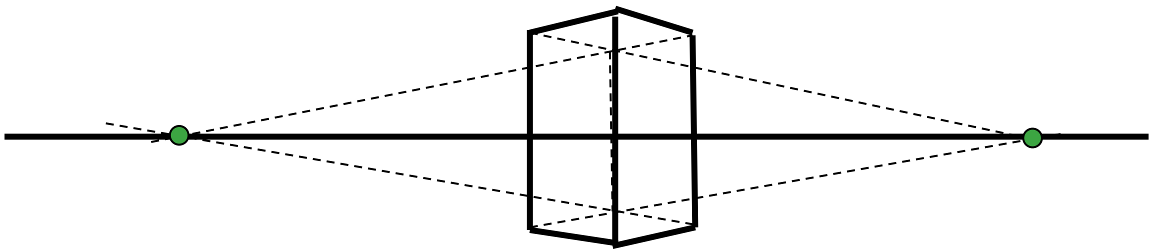


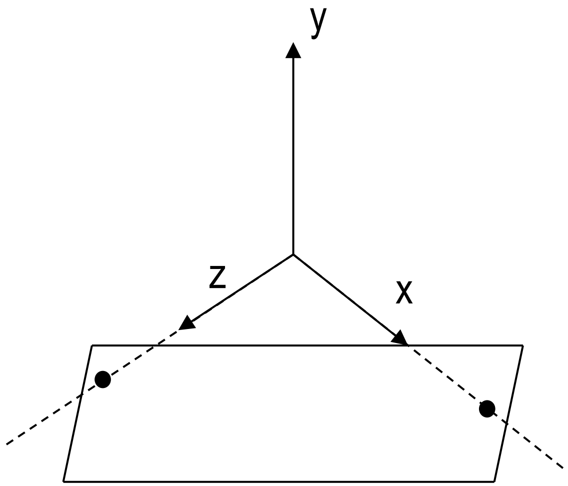
# 1-point perspective



- A painting (*The Piazza of St. Mark, Venice*) done by Canaletto in 1735-45 in one-point perspective.

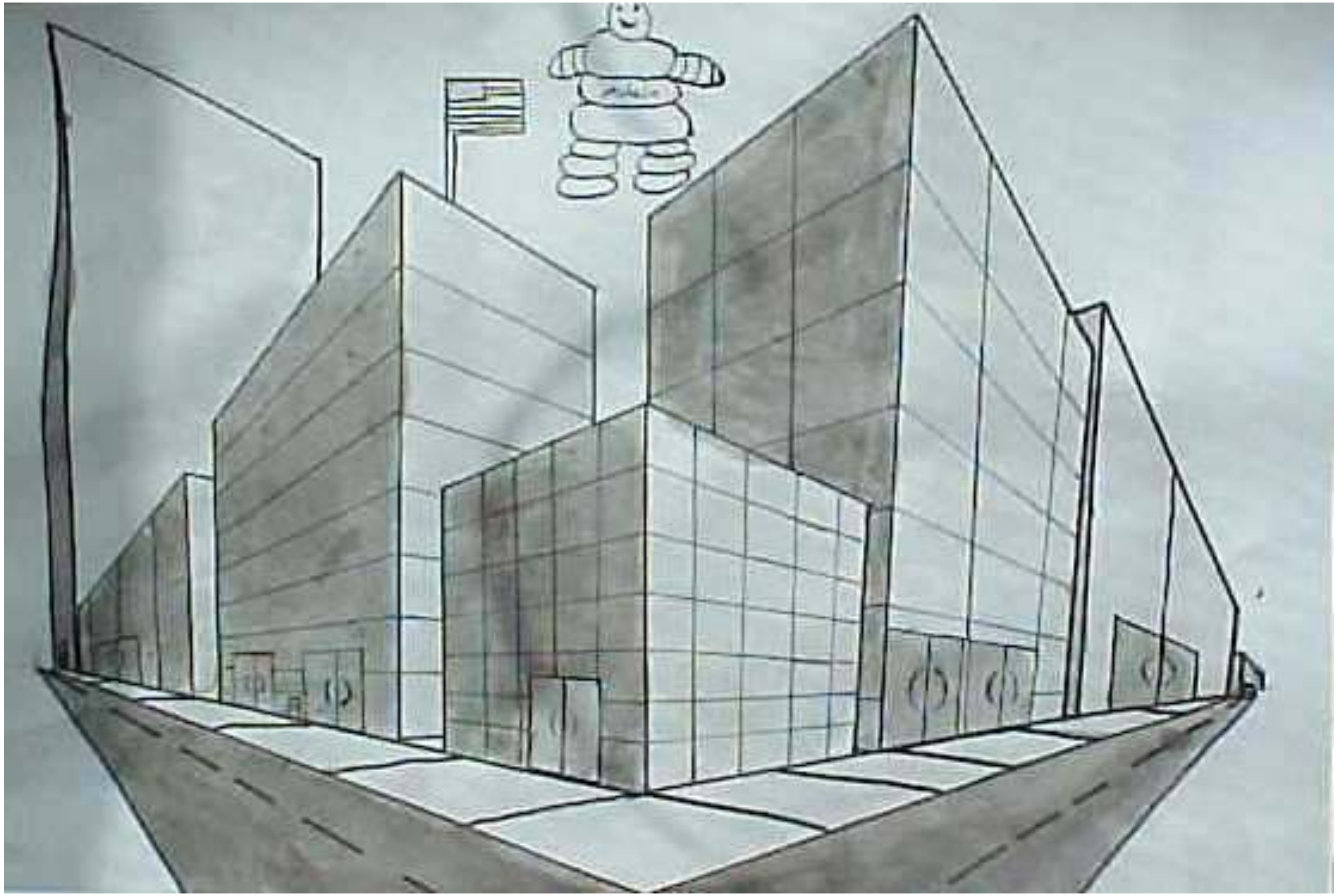
# 2-point perspective



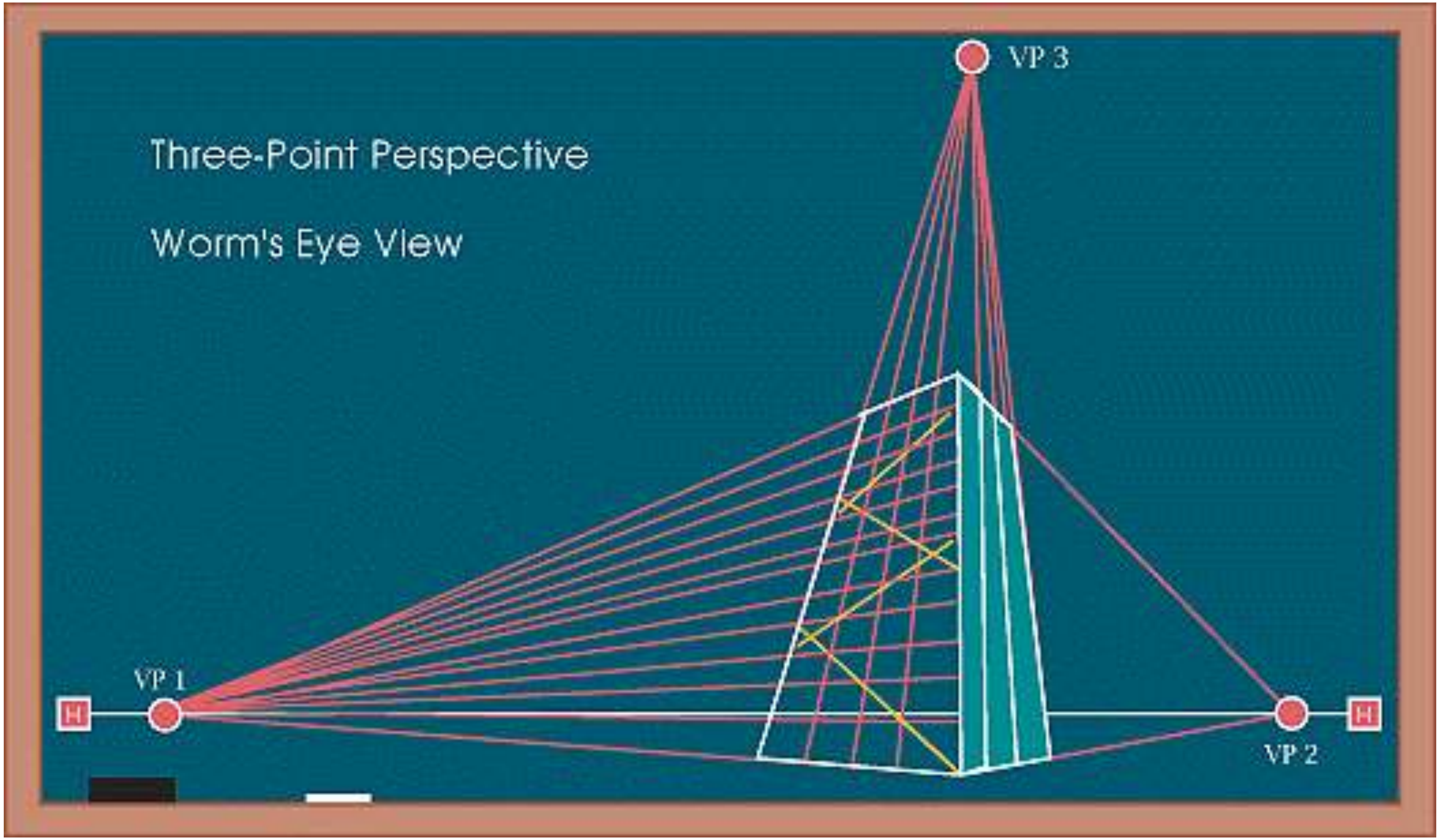



Plano de projeção

# 2-point perspective



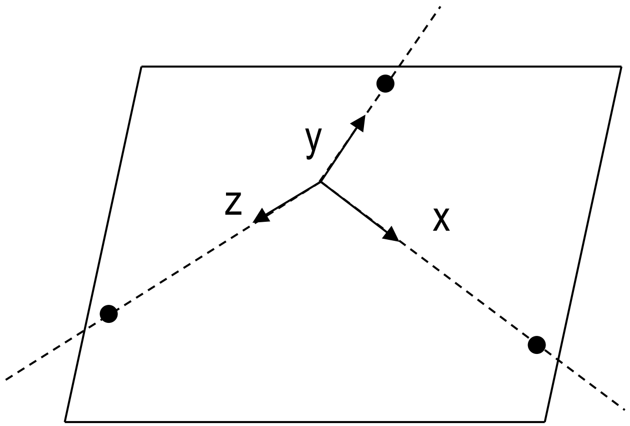
# 3-point perspective



# 3-point perspective

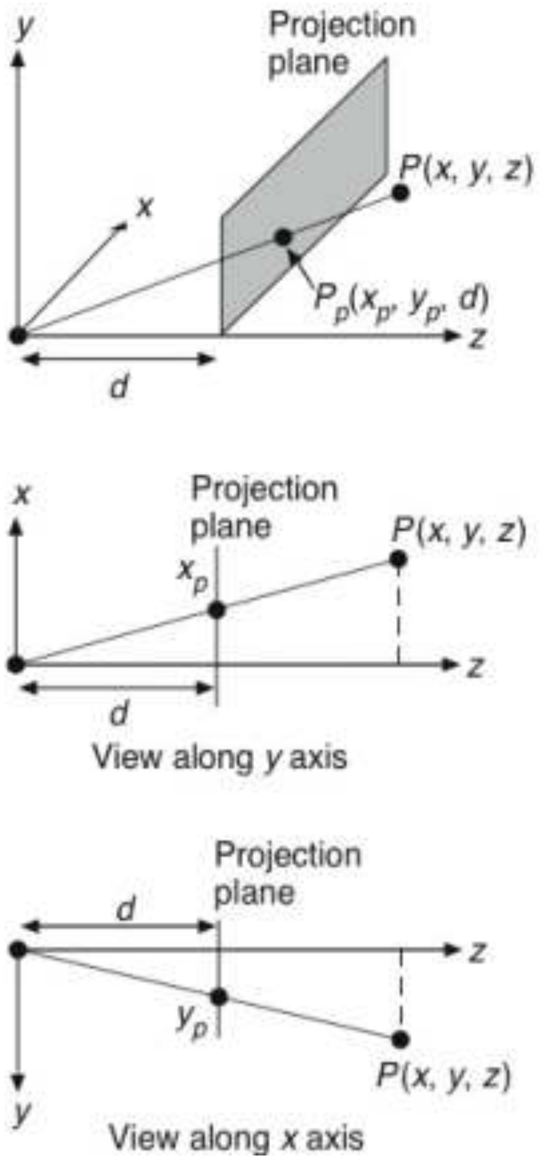
- City Night, 1926
  - Georgia O'Keefe

- Acrescenta pouco em relação a perspectiva com 2 pontos de fuga




Plano de projeção

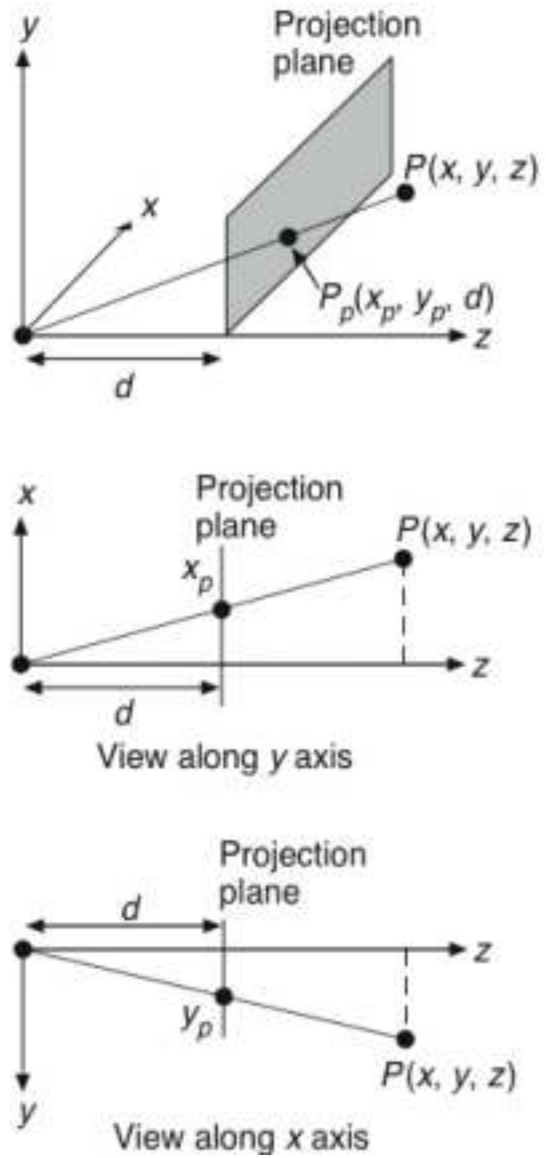
# Obtendo Coordenadas de Projeção




- Para projeções perspectivas?
- Assumindo que o plano de projeção encontra-se perpendicular ao eixo ***w*** do SRC e a uma distância ***d***
- Por semelhança de triângulos temos:

$$\frac{x_p}{d} = \frac{x}{z} \qquad \frac{y_p}{d} = \frac{y}{z}$$

# Obtendo Coordenadas de Projeção




$$x_p = \frac{d \cdot x}{z} = \frac{x}{z/d} \qquad y_p = \frac{d \cdot y}{z} = \frac{y}{z/d}$$

matricialmente:

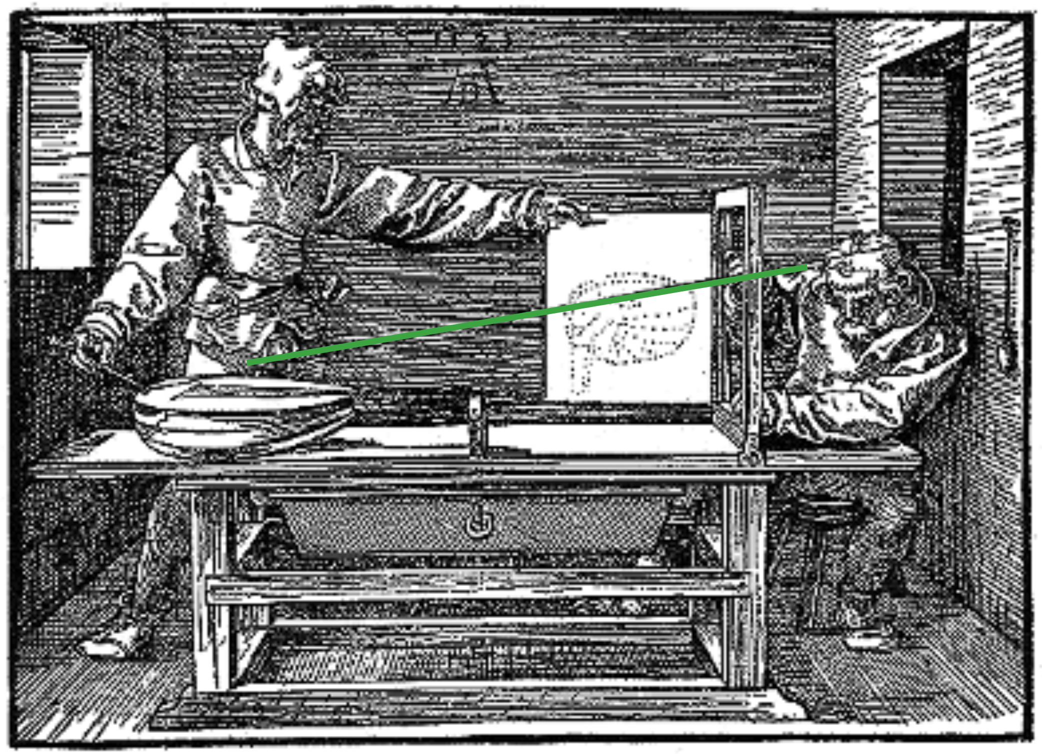
Matriz de Projeção Perspectiva

homogenize

$$\begin{pmatrix} x*d/z \\ y*d/z \\ d \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ z/d \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1/d & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix}$$

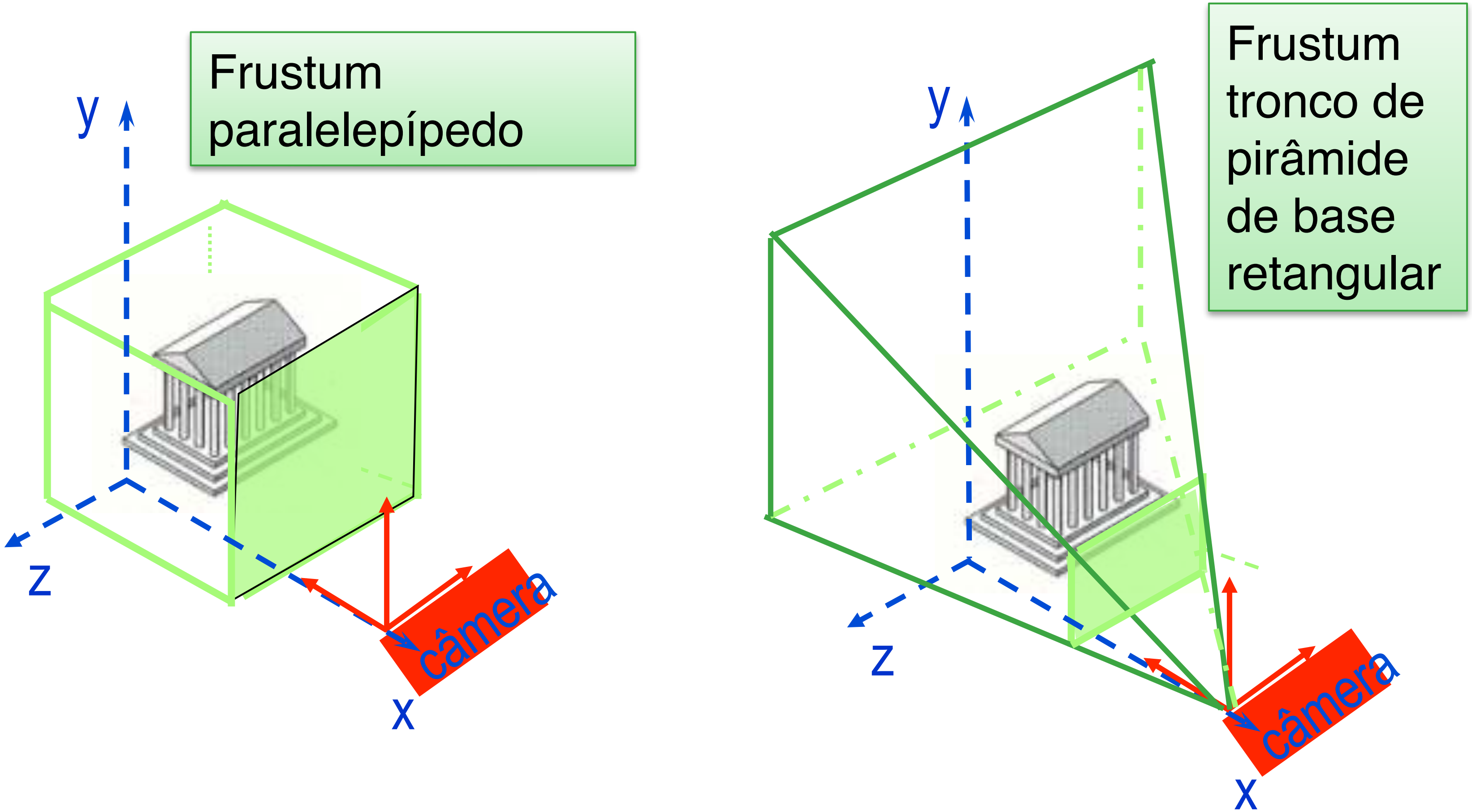
# Volume de Visualização

- Precisamos definir uma área do espaço que será considerada
- Somente os objetos dentro do volume serão  considerados
- Depende da PROJEÇÃO



Albrecht Durer  doing perspective projections in 1525.

# Volume de Visualização




- A definição do tipo de projeção, define também o tipo de Volume de Visualização (ou *Frustum*, em Inglês)

Transformações Modelagem

Iluminação (*Shading*)

Transformação Câmera

Recorte

Projeção

Rasterização

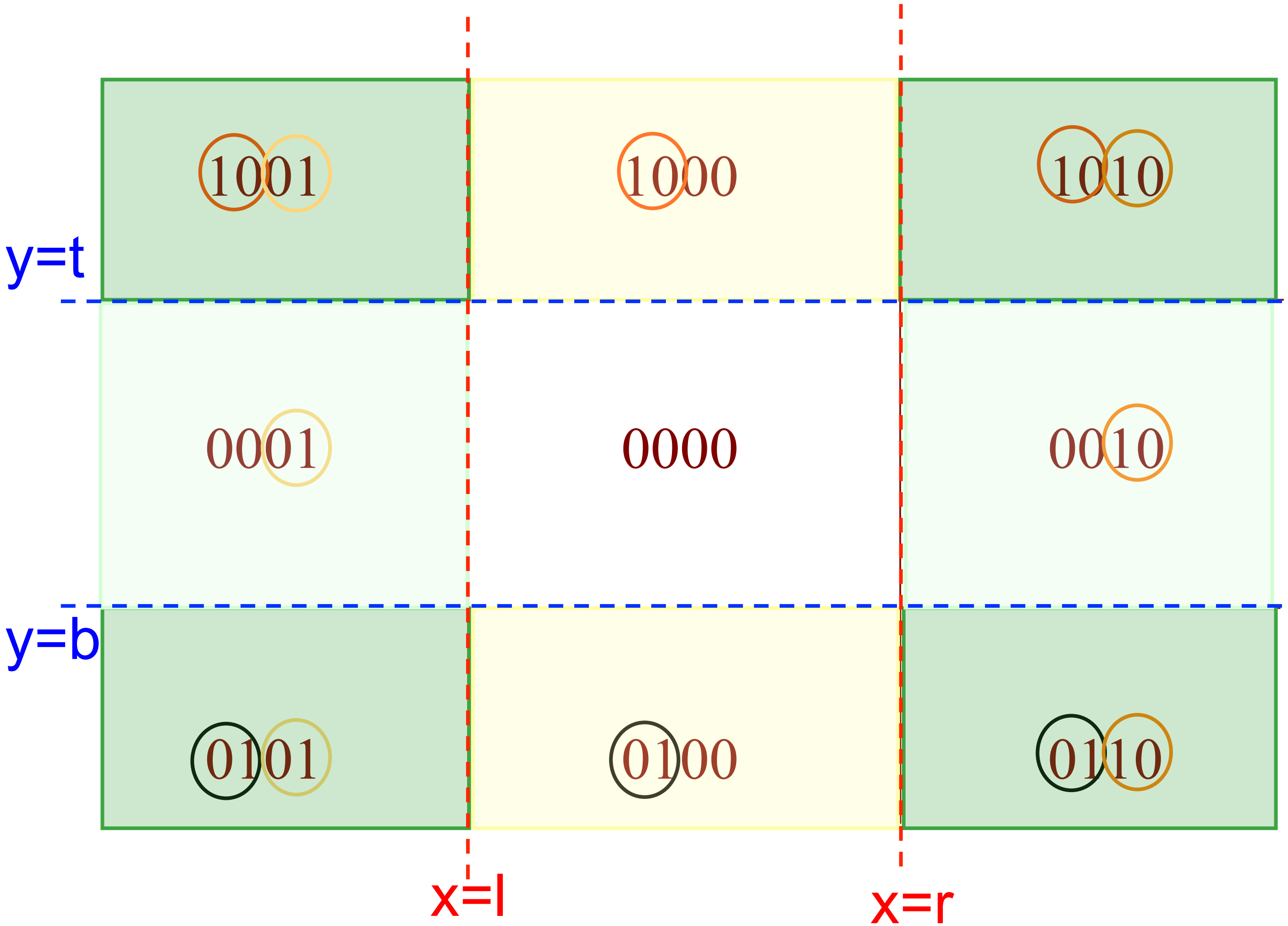
Visibilidade

E como fica o recorte 3D?

Adaptação e melhoramentos de uma aula sobre o mesmo assunto (MIT - EECS 6.837 Durand and Cutler)

# Algoritmo de Cohen-Sutherland 2D

- Maneira eficiente de determinar os diferentes casos
- Divide a região em 9 subespaços
- Atribuição de códigos aos espaços

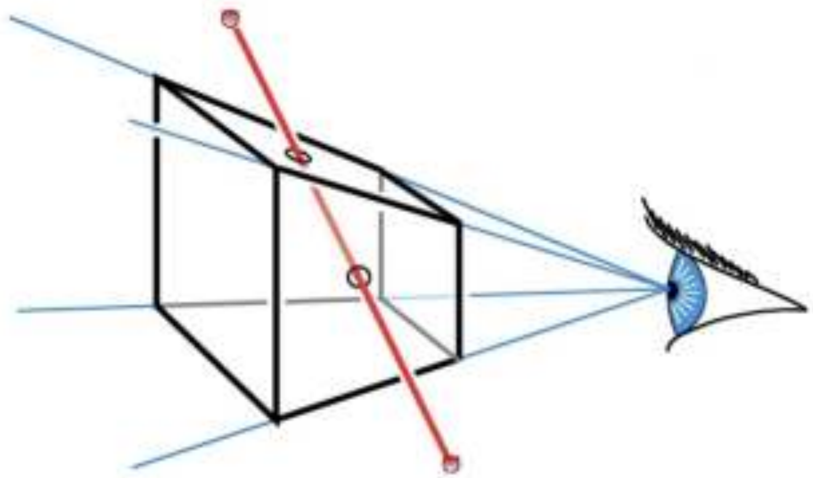


# Cohen-Sutherland 2D - Outcodes

If $y > t$ ➔ seta primeiro bit em 1
If $y < b$ ➔ seta segundo bit em 1
If $x > r$ ➔ seta terceiro bit em 1
If $x < l$ ➔ seta quarto bit em 1

# Recorte 3D

- Extensão de Cohen-Sutherland para 3D
- 6 outcodes ao invés de 4
  - bit 1: ponto está acima do volume
  - bit 2: ponto está abaixo do volume
  - bit 3: ponto está à direita do volume
  - bit 4: ponto está à esquerda do volume
  - bit 5: ponto está atrás do volume
  - bit 6: ponto está à frente do volume
- Os casos permanecem os mesmos

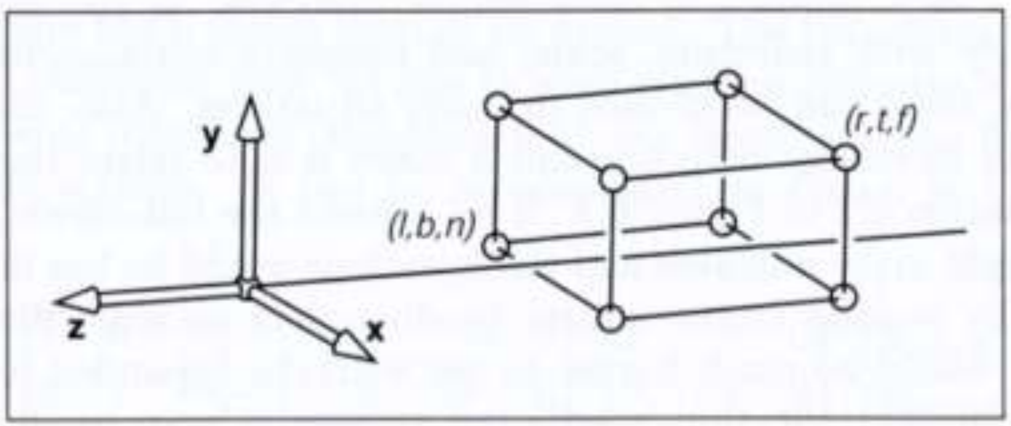


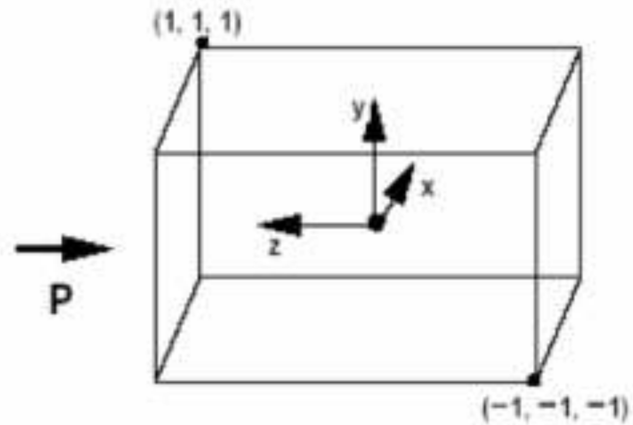
# Coordenadas Normalizadas

MAS ANTES DE RECORTAR…

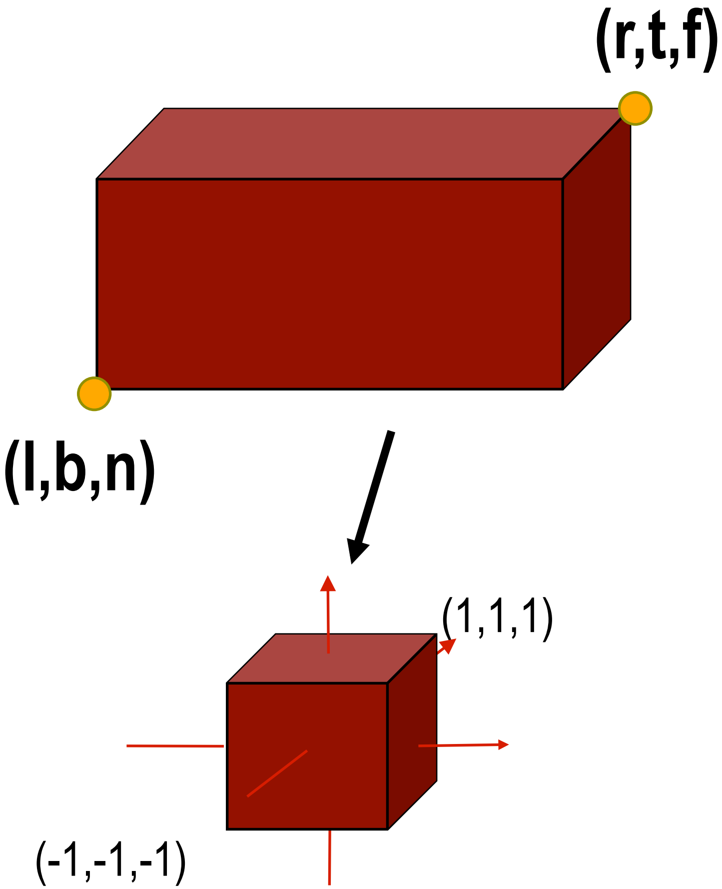
- Vantagens
  - Recorte mais eficiente para um volume retangular, alinhado com os eixos (*Volume-padrão*)
  - *Frustum* tem geometria arbitrária
- Desvantagens
  - Como todos os pontos são transformados antes do recorte, provavelmente estaremos transformando pontos que posteriormente serão eliminados pelo recorte

# Coordenadas Normalizadas - Projeção Ortográfica



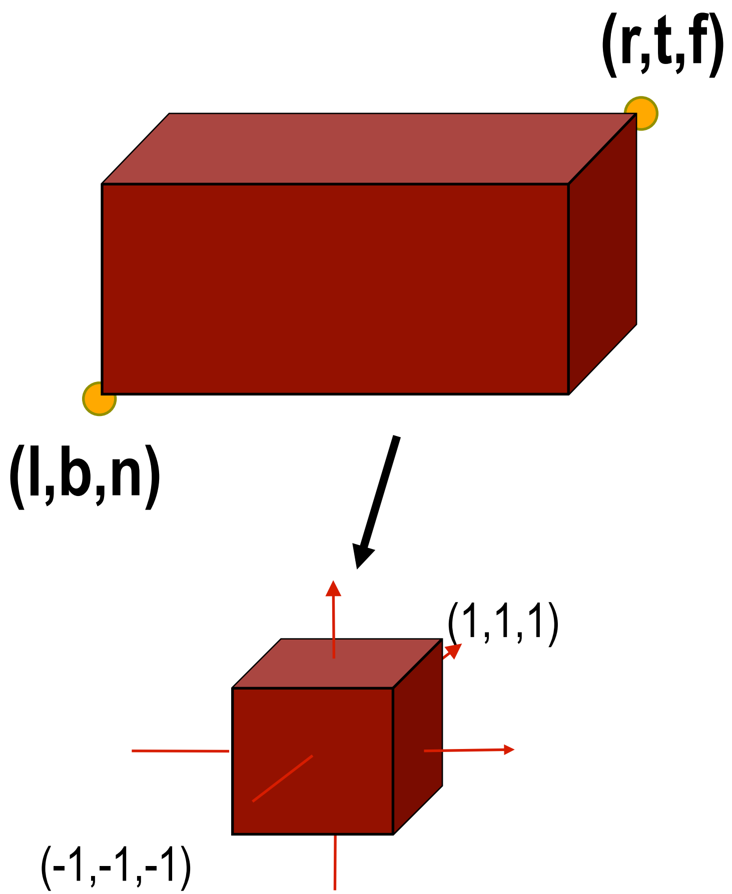



# Transformação para o volume canônico de projeção ortográfica




- Translação (T)
  - o ponto central do volume de visualização deve ser levado para a origem
    - Dx = - (r + l) / (r – l )
    - Dy = - (t + b) / (t - b)
    - Dz = - (f + n) / ( f – n )
  - Isto é necessário porque, não obrigatoriamente r e l, b e t são centrados na origem!

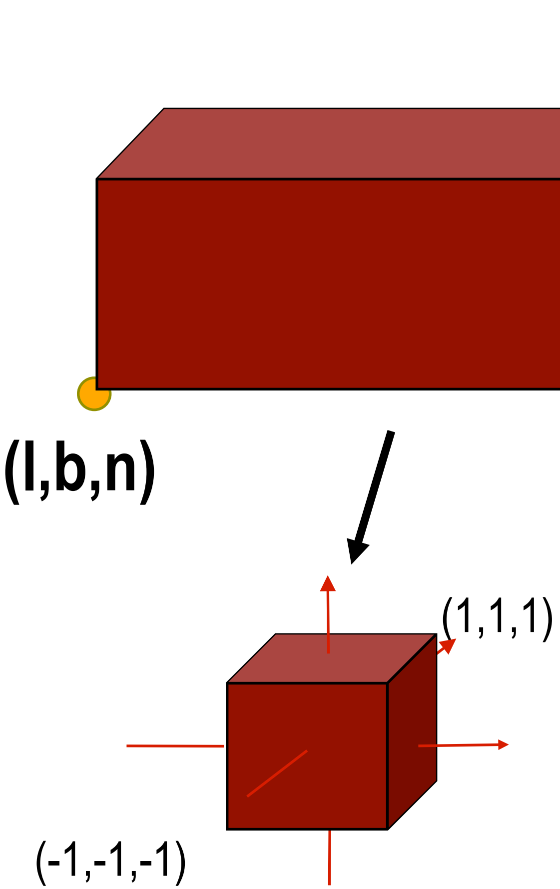
# Transformação para o volume canônico de projeção ortográfica




- Escala (S)
  - o volume canônico tem dimensões 2x2x2
    - Sx = 2 / (r - l)
    - Sy = 2 / (t - b)
    - Sz = 2 / (f - n)
- Volume canônico
  - P'= S.T.P

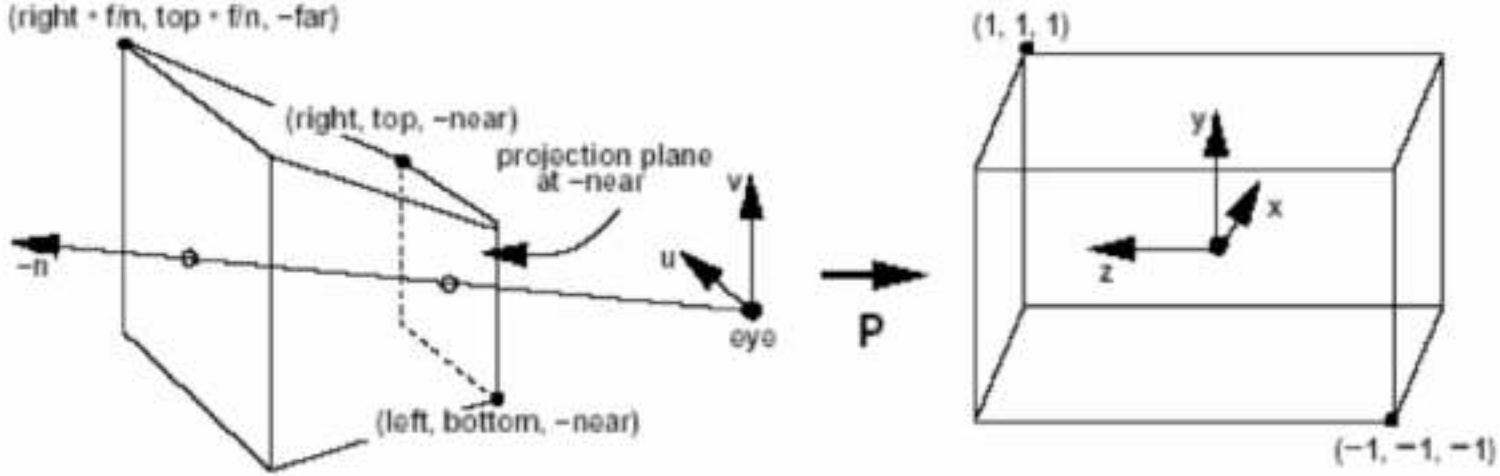
# Transformação para volume canônico de projeção ortográfica

- Volume canônico
  - Origem deve ser (0,0,0)
  - Lado deve ter tamanho 2
  - zmin = -near
  - zmax = -far
- Matriz composta




$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{2}{right - left} & 0 & 0 & \frac{-(right + left)}{right - left} \\ 0 & \frac{2}{bottom - top} & 0 & \frac{-(bottom + top)}{bottom - top} \\ 0 & 0 & \frac{2}{far - near} & \frac{-(far + near)}{far - near} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

# Coordenadas Normalizadas
# Projecão Perspectiva




matriz de conversão

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{2 \cdot near}{right - left} & 0 & \frac{-(right + left)}{right - left} & 0 \\ 0 & \frac{2 \cdot near}{bottom - top} & \frac{-(bottom + top)}{bottom - top} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{far + near}{far - near} & \frac{-2 \cdot near \cdot far}{far - near} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

# Visualização 3D em OpenGL

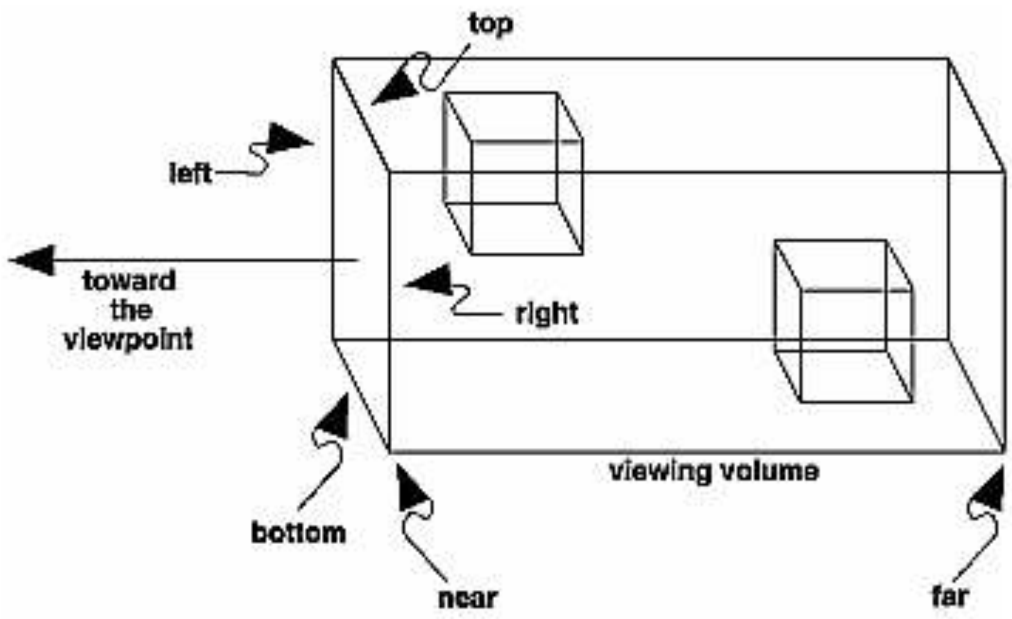
- Posição default da câmera
  - na origem (0,0,0)
  - orientada para o eixo -z
- Volume default para projeção ortográfica
  - 2 x 2 x 2
  - objetos atrás do observador também são projetados

# Visualização (2D) em OpenGL

- Utilizando a GLU
  - gluOrtho2D (left, right, bottom, top);
  - todos os parâmetros são double
- Esta função chama
  - glOrtho (left, right, bottom, top, near, far);
  - near = -1.0 e far = 1.0
  - especificando limites do volume, distâncias do observador no SRU
- Não se especifica posição do observador
  - O observador está em (0,0,0) olhando para a direção do eixo z negativo

# Em OpenGL – Ortográfica 3D

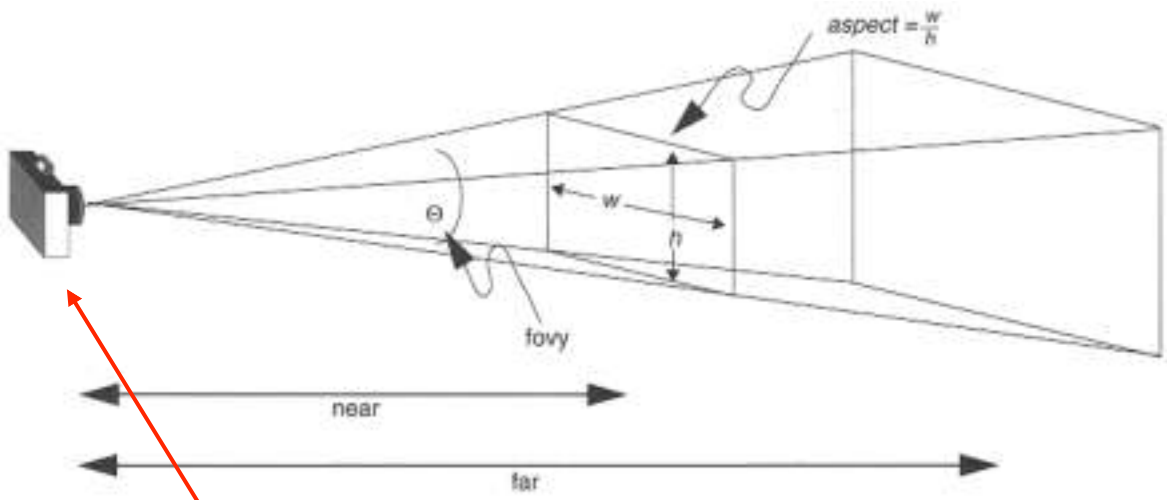
```
void glOrtho(
   GLdouble left,
   GLdouble right,
   GLdouble bottom,
   GLdouble top,
   GLdouble near,
   GLdouble far
);
```



# Em OpenGL - Perspectiva

Qual o *up vector* neste caso?

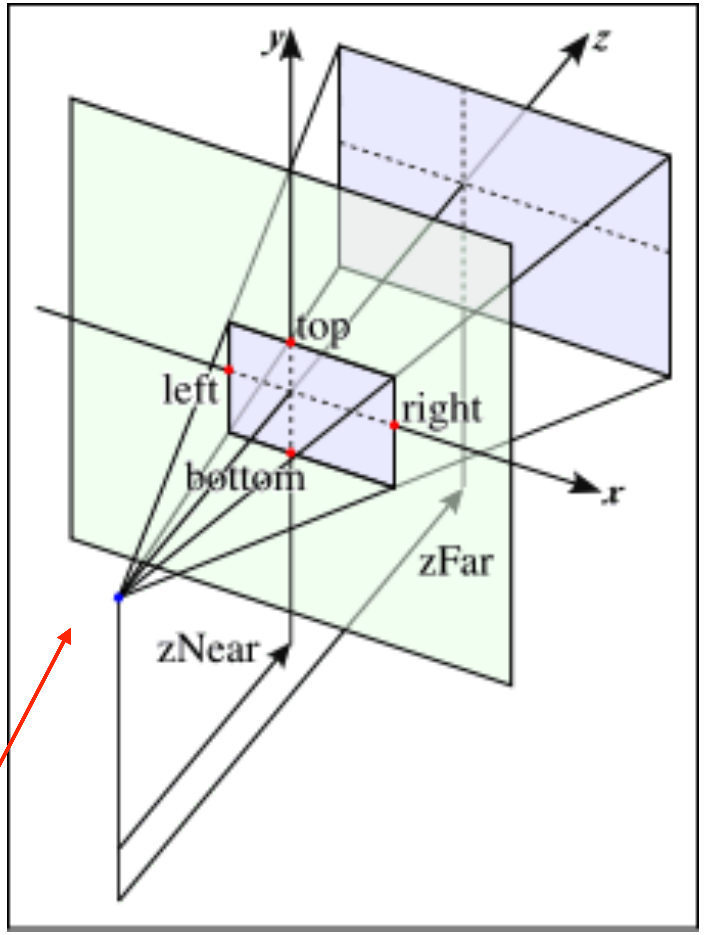
```
void gluPerspective(
   GLdouble fovy,
   GLdouble aspect,
   GLdouble zNear,
   GLdouble zFar
);
```




A posição é definida anteriormente com `glTranslate`

# Em OpenGL - Perspectiva

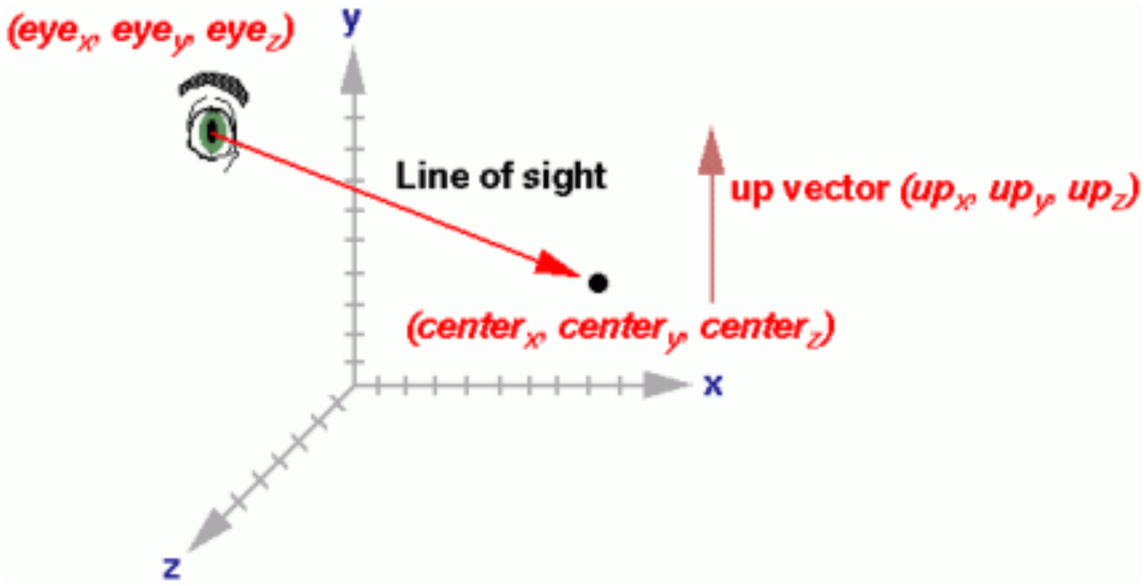
```
void glFrustum(
   GLdouble left,
   GLdouble right,
   GLdouble bottom,
   GLdouble top,
   GLdouble near,
   GLdouble far
);
```




A posição é definida anteriormente com `glTranslate`

# Em OpenGL - Perspectiva

```
void gluLookAt(
  GLdouble eyex,
  GLdouble eyey,
  GLdouble eyez,
  GLdouble centerx,
  GLdouble centery,
  GLdouble centerz,
  GLdouble upx,
  GLdouble upy,
  GLdouble upz,
);
```




A posição é diretamente definida