Introdução à Computação Gráfica
Texturas

Adaptação: João Paulo Pereira
António Costa

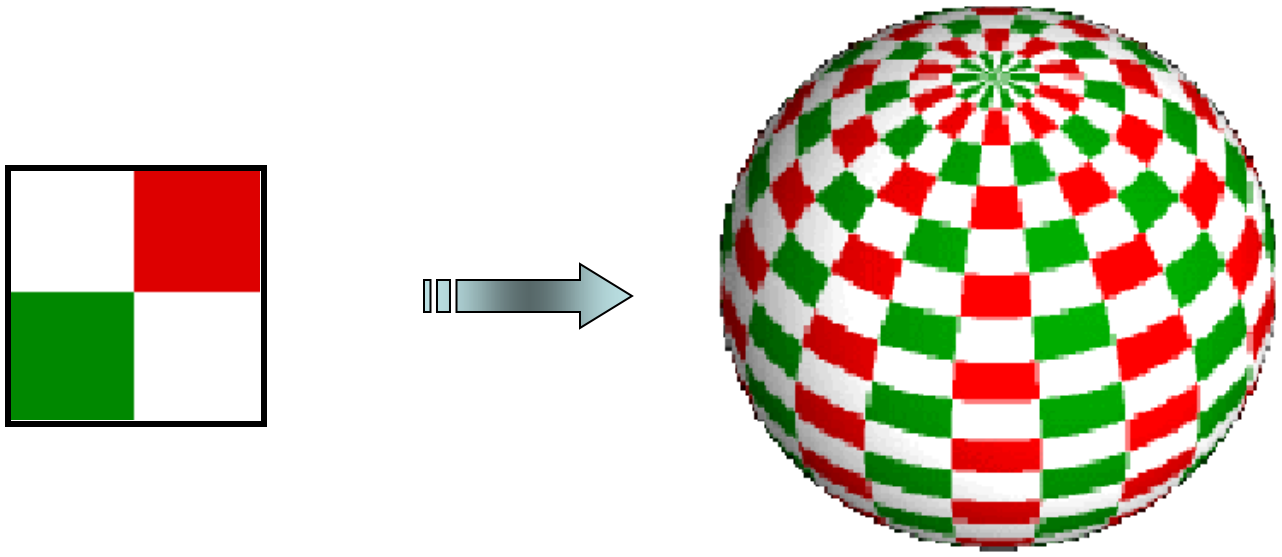
Autoria: Claudio Esperança
Paulo Roma Cavalcanti

Detalhes de Superfícies

- Modelos de iluminação não são apropriados para descrever todas as diferenças de cor observáveis numa superfície
  - Superfícies pintadas com padrões ou imagens
    - A capa ou uma página de um livro
  - Superfícies com padrões de rugosidade
    - Tecidos ou uma parede de tijolos
- Em princípio é possível modelar esses detalhes com geometria e usando materiais de propriedades ópticas distintas
- Na prática, esses efeitos são modelados usando uma técnica chamada *mapeamento de textura*

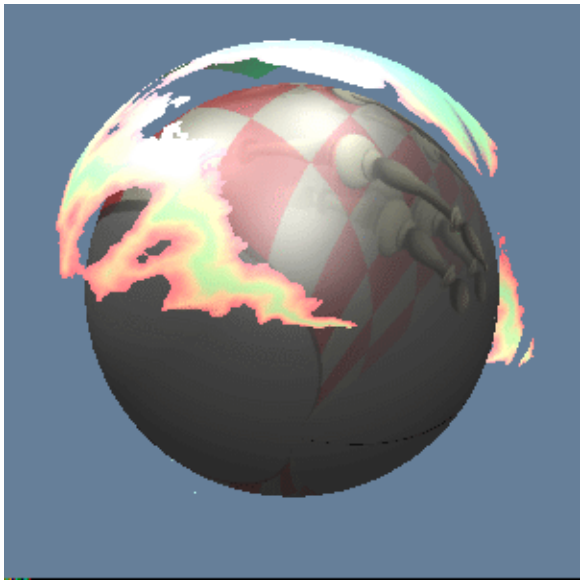
Mapeamento de Textura

- A ideia é reproduzir sobre a superfície de algum objecto da cena as propriedades de alguma função – ou mapa - bidimensional (cor, por exemplo)



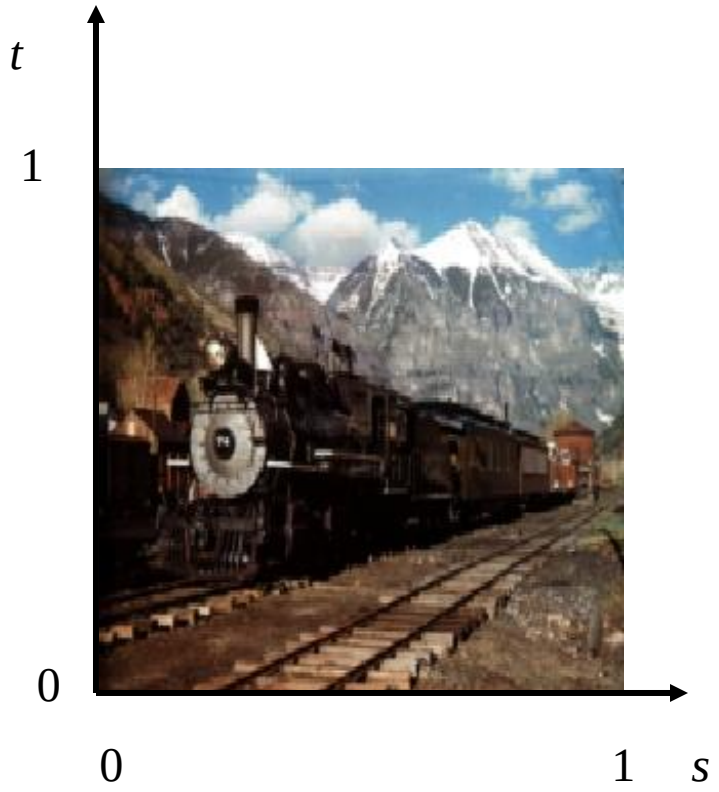
Propriedades Mapeáveis

- Que parâmetros ou propriedades se podem reproduzir a partir de mapas:
  - Cor (coeficientes de reflexão difusa)
  - Coeficientes de reflexão especular e difusa
    - "Environment Mapping"
  - Perturbação do vector normal
    - "Bump Mapping"
  - Perturbação da superfície na direcção da normal
    - "Displacement Mapping"
  - Transparência / opacidade



Espaço de Textura

- Texturas 2D são funções $T(s, t)$ cujo domínio é um espaço bidimensional e o contradomínio pode ser cor, opacidade, etc.
- É comum ajustar a escala da imagem de tal forma que a imagem toda se enquadre no intervalo $0 \leq s, t \leq 1$
- Normalmente a função em si é derivada de alguma imagem capturada
  - Se a imagem está armazenada numa matriz $Im\,[0..N–1\,,\,0..M–1]$
  - Então $T(s, t) = Im\,[\lfloor(1 – t)\,N\rfloor\,,\lfloor s\,M\rfloor\,]$



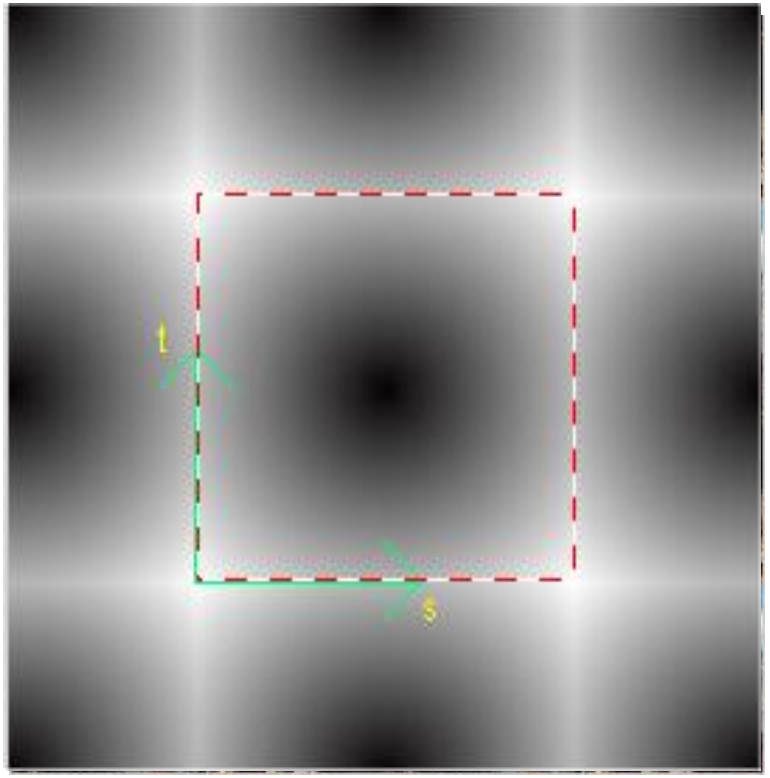
Espaço de Textura

- Pode ser vantajoso assumir que o padrão da imagem se repete fora desse intervalo

$$T(s, t) = Im\,[\,\lfloor (1 - t)\,N \rfloor \bmod N,\ \lfloor s\,M \rfloor \bmod M\,]$$

- A função de textura pode ser também definida algebricamente:

$$T(s,t) = \sqrt{(s-0.5)^2 + (t-0.5)^2}$$



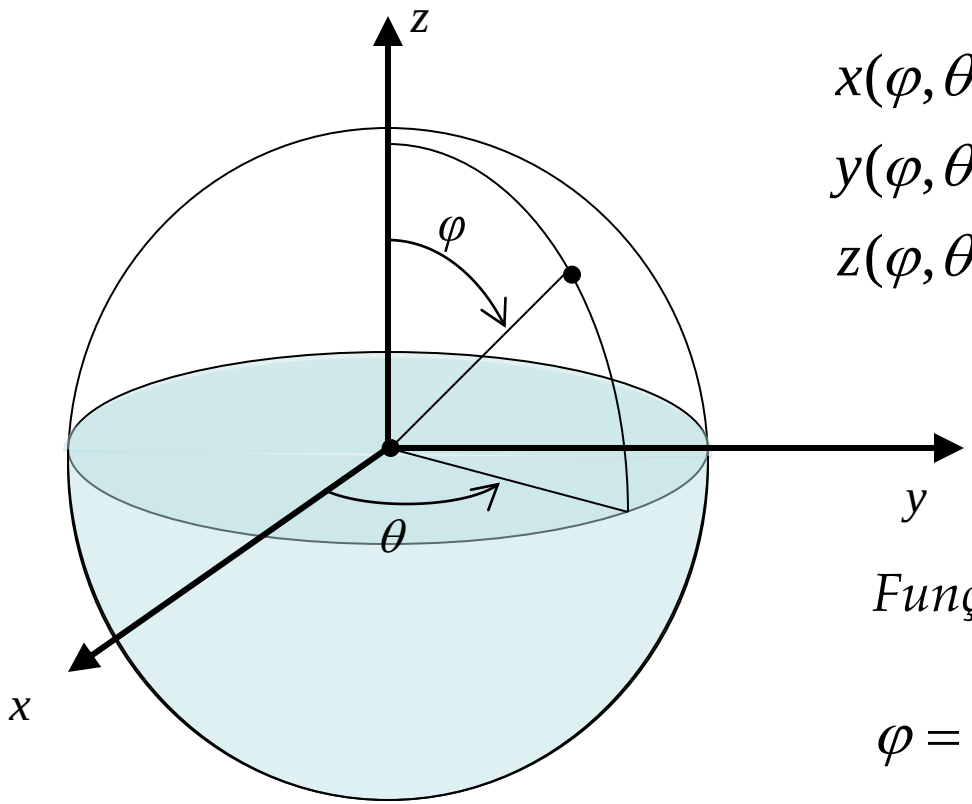
Função de Mapeamento

- Devolve o ponto do objecto correspondente a cada ponto do espaço de textura

  $(x, y, z) = F(s, t)$

- Corresponde à forma com que a textura é usada para "embrulhar" (*wrap*) o objecto
  - Na verdade, na maioria dos casos precisamos de uma função que nos permita "desembrulhar" (*unwrap*) a textura do objecto, isto é, a inversa da função de mapeamento
- Se a superfície do objecto puder ser descrita na forma paramétrica, esta pode servir como base para a função de mapeamento

Parametrização da Esfera



Função de mapeamento

$$x(\varphi,\theta) = \sin\varphi\cos\theta$$
$$y(\varphi,\theta) = \sin\varphi\sin\theta$$
$$z(\varphi,\theta) = \cos\varphi$$

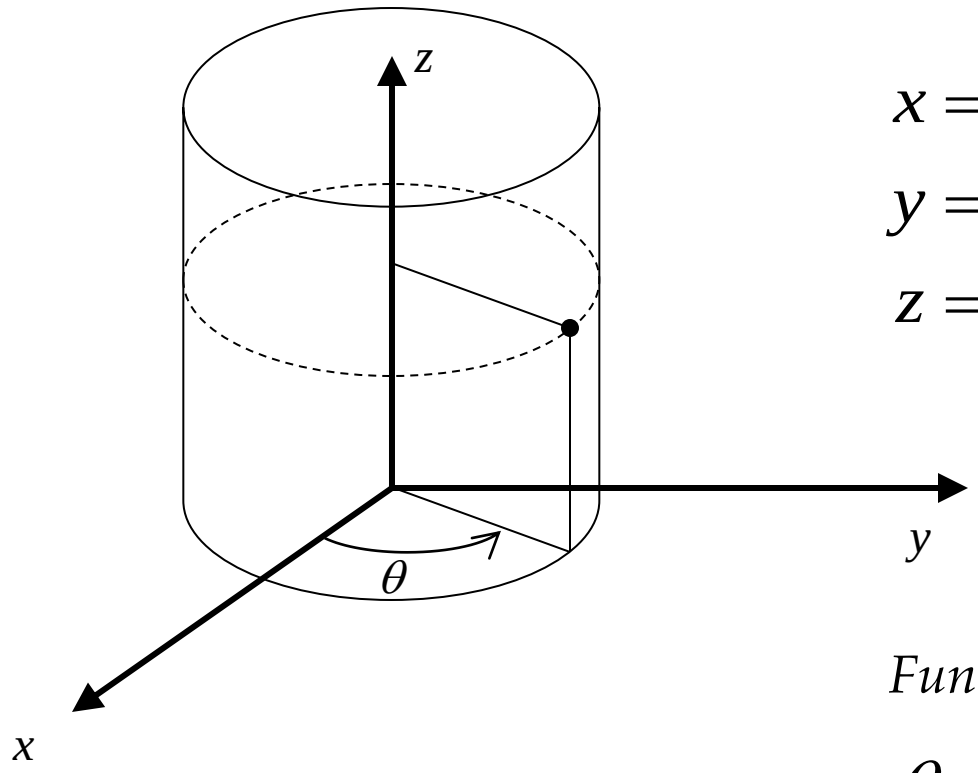
$$\varphi = \pi \cdot t$$
$$\theta = 2\pi \cdot s$$

Função de mapeamento inversa

$$\varphi = \arccos z$$
$$\theta = \arctan\frac{y}{x}$$

$$t = \frac{\arccos z}{\pi}$$
$$s = \frac{\arctan\frac{y}{x}}{2\pi}$$

Parametrização do Cilindro



Função de mapeamento

$$x = \cos\theta \qquad \theta = 2\pi \cdot s$$

$$y = \sin\theta \qquad z = t$$

$$z = z$$

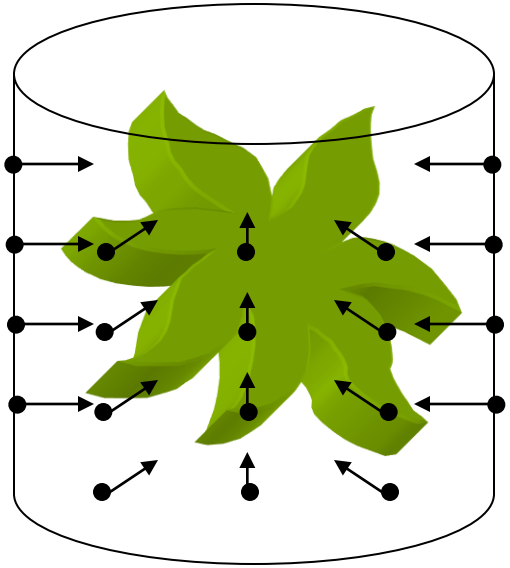
Função de mapeamento inversa

$$\theta = \arctan\frac{y}{x} \qquad s = \frac{\theta}{2\pi}$$

$$z = z \qquad t = z$$

Parametrização de Objectos Genéricos

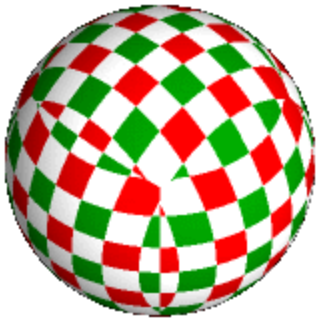
- O que fazer quando o objecto não comporta uma parametrização natural?
- Uma sugestão é usar um mapeamento em 2 estágios [Bier e Sloan]:
  - Mapear textura sobre uma superfície simples como cilindro, esfera, etc. Que englobe aproximadamente o objecto
  - Mapear superfície simples sobre a superfície do objecto. Pode ser feito de diversas maneiras
    - Raios passando pelo centróide do objecto
    - Raios normais à superfície do objecto
    - Raios normais à superfície simples
    - Raios reflectidos (*environment mapping*)



Exemplos

Parametrização cúbica

Projectada numa esfera



Projectada num cilindro

Exemplos

Parametrização cilíndrica

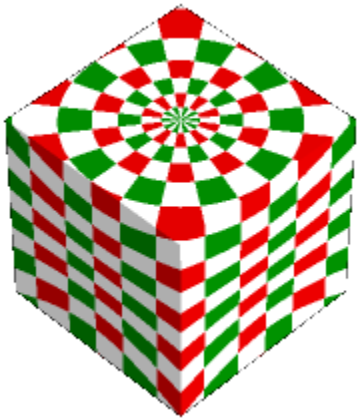
Projectada numa esfera

Projectada num cubo

Exemplos

Parametrização esférica

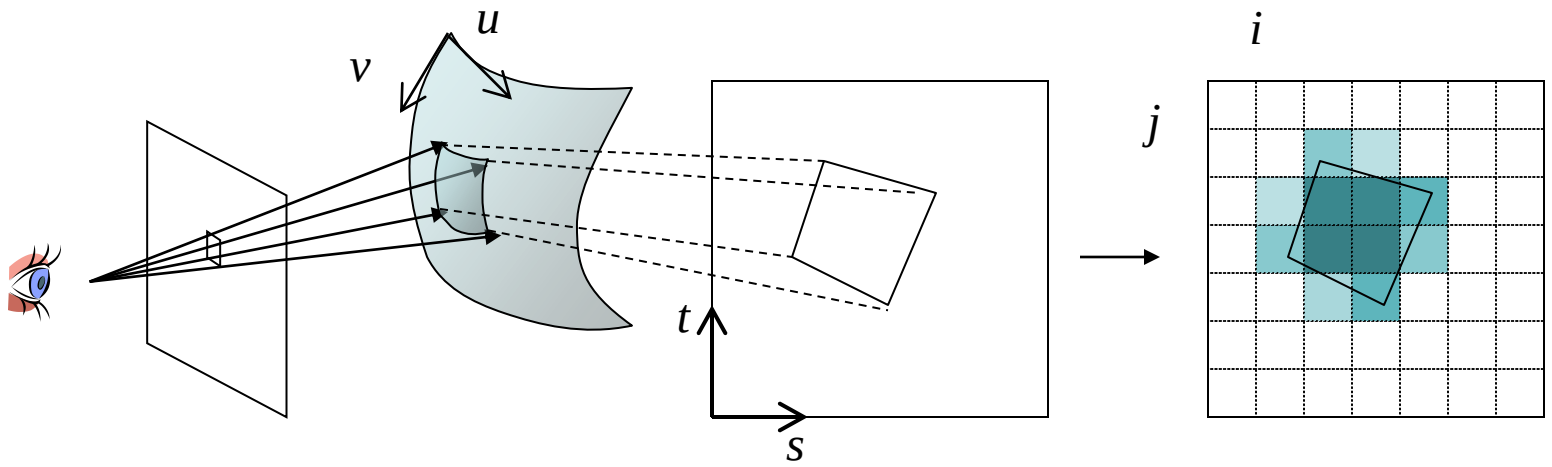
Projectada num cubo



Projectada num cilindro

Processo de Mapeamento de Texturas

- Projecção do pixel sobre a superfície
  - Pontos da superfície correspondentes aos vértices do pixel
- Parametrização
  - Coordenadas paramétricas dos vértices do pixel projectados
- Mapeamento inverso
  - Coordenadas dos vértices no espaço de textura
- Média
  - Cor média dos 'Texels' proporcional à área coberta pelo quadrilátero



Mapeamento de Texturas em Polígonos

- Polígonos são frequentemente usados para representar fronteiras de objectos
- Em OpenGL, além das coordenadas dos vértices e do vector normal, é possível também especificar coordenadas de textura:

```
glBegin (GL_POLYGON);
   glNormal3fv (N);
   glTexCoord2fv (T);
   glVertex3fv (V);
   ...
glEnd ();
```

Mapeamento de Texturas em Polígonos

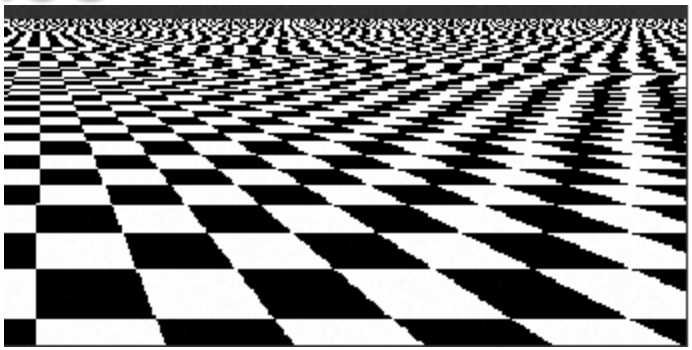
- A maneira mais simples e rápida:
  - Projectar os vértices do polígono na imagem
  - A cada vértice projectado P_i corresponde um ponto Q_i no espaço de textura
  - Um pixel P do polígono na imagem é dado por uma combinação afim. Ex.:

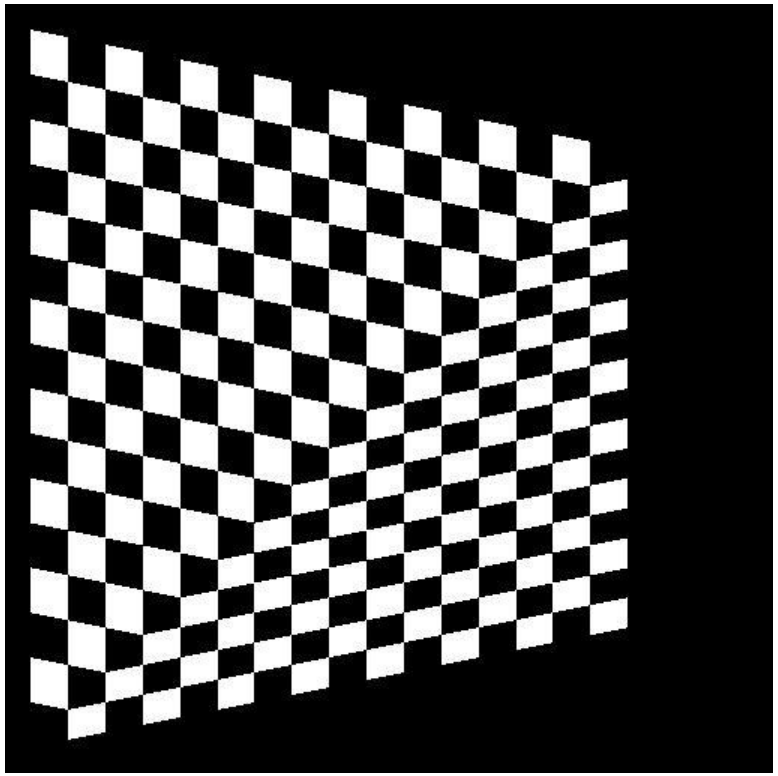
    $P = \alpha_1 P_1 + \alpha_2 P_2 + \alpha_3 P_3$
  - Pixel P é pintado com a cor do texel obtido com a mesma combinação afim. Ex.:

    $Q = \alpha_1 Q_1 + \alpha_2 Q_2 + \alpha_3 Q_3$

Mapeamento de Texturas em Polígonos

- Problemas da abordagem simples:
  - Aliasing
    - Pixel <≠> Texel
    - Soluções:
      - Interpolação
      - *Mip-mapping*
  - Deformação
    - Combinações afim não são preservadas pelas projecções perspectivas
    - Soluções:
      - Mais vértices
      - Coordenadas homogéneas





Mapeamento de Texturas em OpenGL

1. Ligar o mapeamento de texturas
   - **`glEnable(GL_TEXTURE_2D);`**
2. Especificar a textura
   - Usar **glTexImage2D** que tem o formato

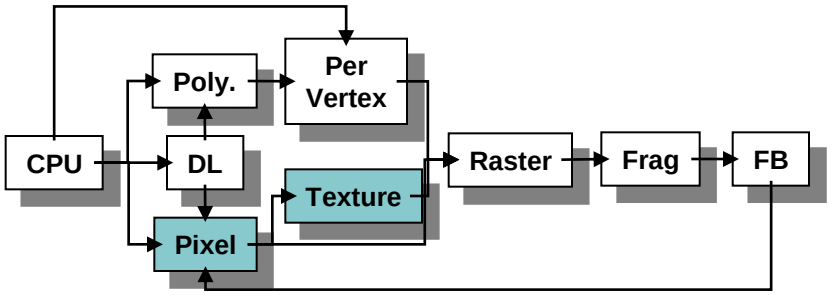
     void **glTexImage2D** (*GLenum* target, *GLint* level, *GLint* internalFormat, *GLsizei* width, *GLsizei* height, *GLint* border, *GLenum* format, *GLenum* type, *const GLvoid* *pixels);
   - **Exemplo:**

     glTexImage2D (GL_TEXTURE_2D, 0, GL_RGBA, 128, 128, 0, GL_RGBA, GL_UNSIGNED_BYTE, img);

Mapeamento de Texturas em OpenGL

3. Configurar diversos parâmetros
   - Modos de filtragem
     - Magnificação ou minificação
     - Filtros mipmap de minificação
   - Modos de repetição de padrões
     - Cortar ou repetir
   - Funções de aplicação de textura
     - Como misturar a cor do objecto com a da textura
       - Misturar, modular ou substituir texels
4. Especificar coordenadas de textura
   - Por vértice
     - glTexCoord*
   - Coordenadas computadas automaticamente
     - glTexGen*

Especificação da imagem de textura



- Imagem de textura normalmente carregada a partir de um array de texels na memória principal
  - `glTexImage2D( target, level, components, w, h, border, format, type, *texels );`
  - Tamanho da imagem tem ser potência de 2
- Cores dos texels são processadas pela parte do pipeline que processa pixels
  - Boa parte do repertório de operações sobre bitmaps pode ser usada

Conversão da Imagem de Textura

- Se o tamanho da imagem não é uma potência de 2
  - `gluScaleImage( format, w_in, h_in, type_in, *data_in, w_out, h_out, type_out, *data_out );`
  - *_in = ***imagem original***
  - *_out = ***imagem destino***
- Imagem é interpolada e filtrada durante a escala

Outros métodos para especificar texturas

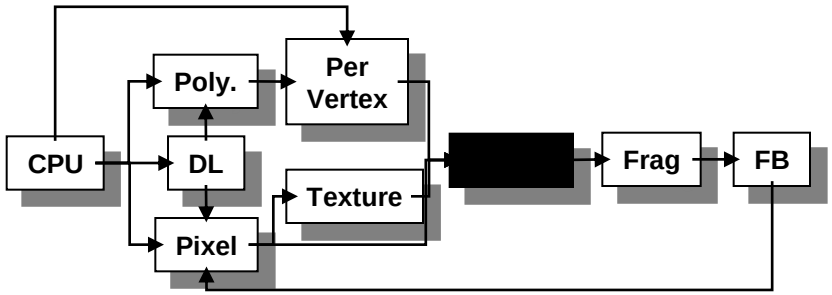
- Usar o frame buffer como fonte da imagem de textura

```
glCopyTexImage1D(...)
glCopyTexImage2D(...)
```

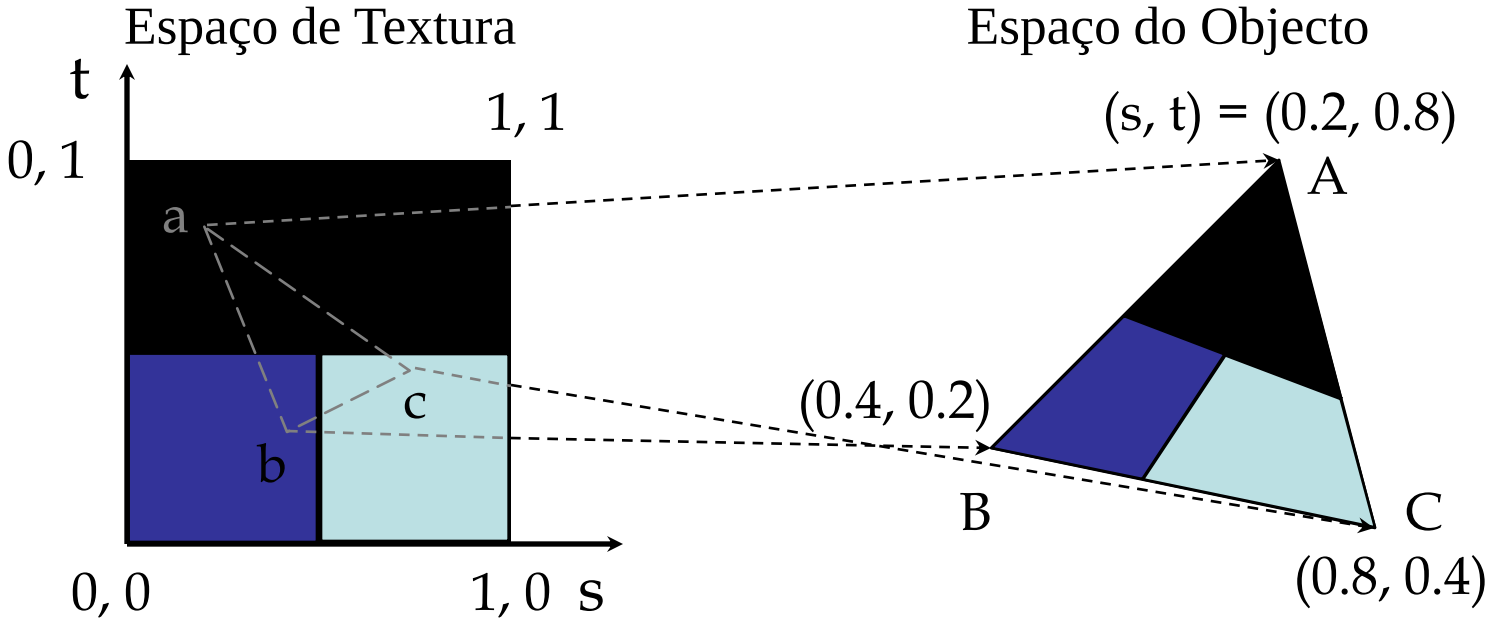
- Modificar parte de uma textura pré-definida

```
glTexSubImage1D(...)
glTexSubImage2D(...)
glTexSubImage3D(...)
```

Mapeamento da Textura



- Baseado em coordenadas paramétricas de textura
- Chamar `glTexCoord*()` para cada vértice



Geração Automática de Coordenadas de Texturas

- Habilitar a geração automática de coordenadas de textura

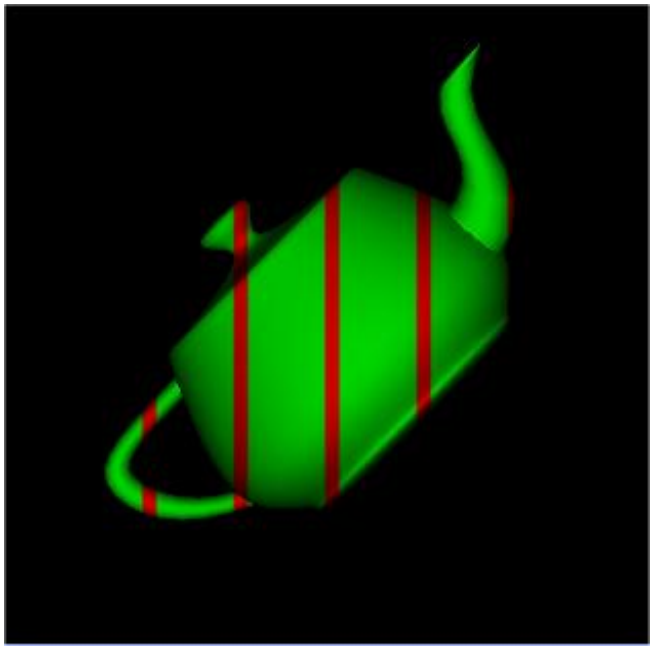
  `glEnable` `(GL_TEXTURE_GEN_{STRQ});`
- Especificar parâmetros

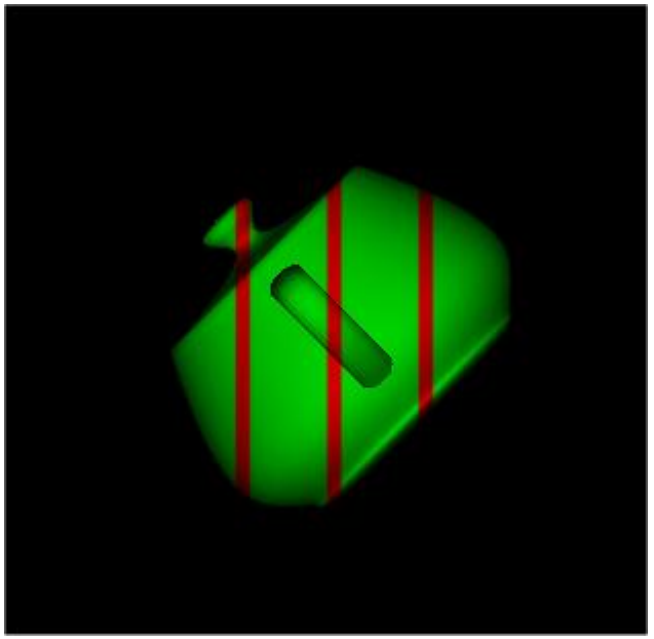
  void **`glTexGen`**{ifd} (*GLenum coord, GLenum pname, TYPE param*);

  void **`glTexGen`**{ifd}**`v`** (*GLenum coord, GLenum pname, TYPE *param*);
  - Qual coordenada de textura?
    - *Coord* = `GL_S / GL_T / GL_R / GL_Q`
  - Plano de referência
    - *Pname* = `GL_OBJECT_PLANE / GL_EYE_PLANE`
    - *Param* = coeficientes A/B/C/D do plano
  - Modos de geração de coordenadas
    - *Pname* = `GL_TEXTURE_GEN_MODE`
    - *Param* = `GL_OBJECT_LINEAR / GL_EYE_LINEAR / GL_SPHERE_MAP`

Geração Automática de Coordenadas de Textura

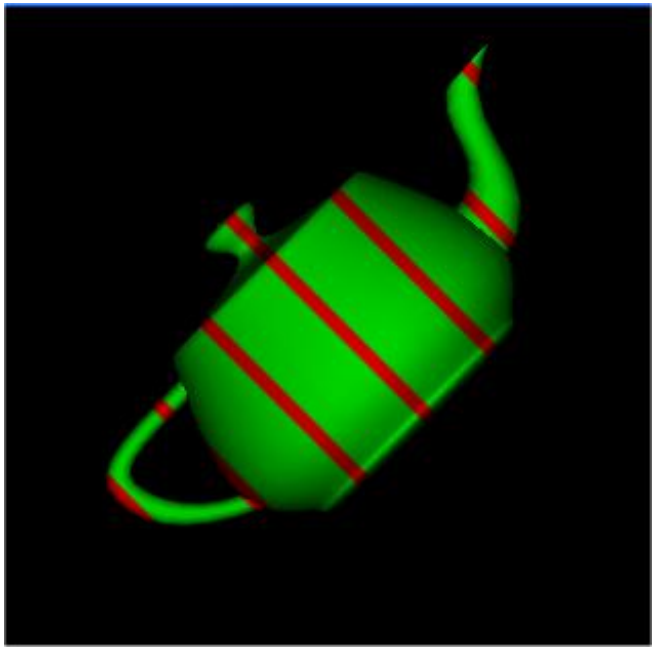
GL_EYE_LINEAR

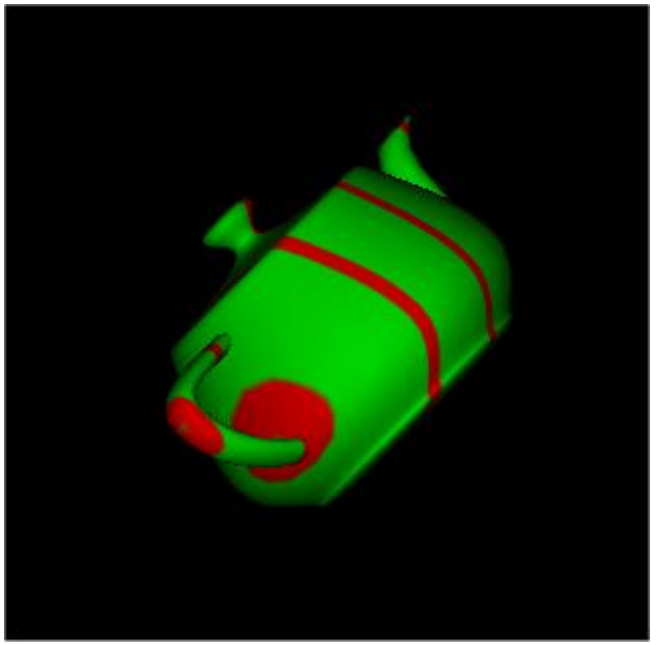




Geração Automática de Coordenadas de Textura

GL_OBJECT_LINEAR





Filtragem

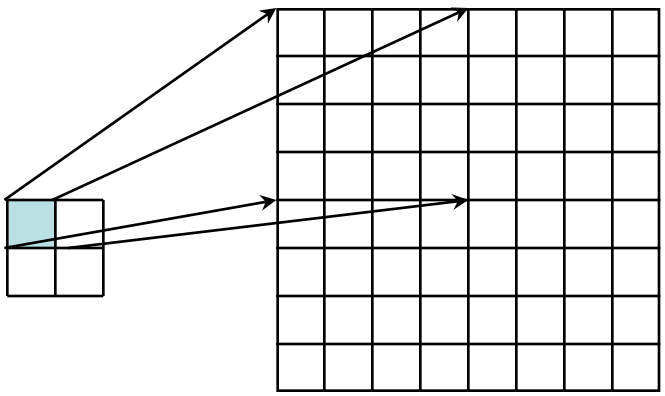
GL_TEXTURE_2D
GL_TEXTURE_1D

GL_TEXTURE_MAG_FILTER
GL_TEXTURE_MIN_FILTER

GL_NEAREST
GL_LINEAR
GL_NEAREST_MIPMAP_NEAREST
GL_NEAREST_MIPMAP_LINEAR
GL_LINEAR_MIPMAP_NEAREST
GL_LINEAR_MIPMAP_LINEAR

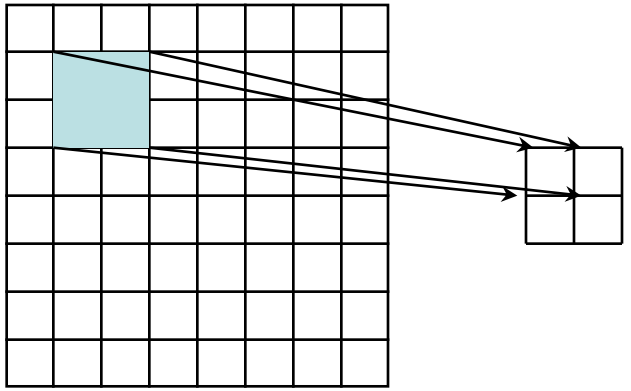
Exemplo:

glTexParameteri(*target, type, mode*);



Textura Polígono

Magnificação

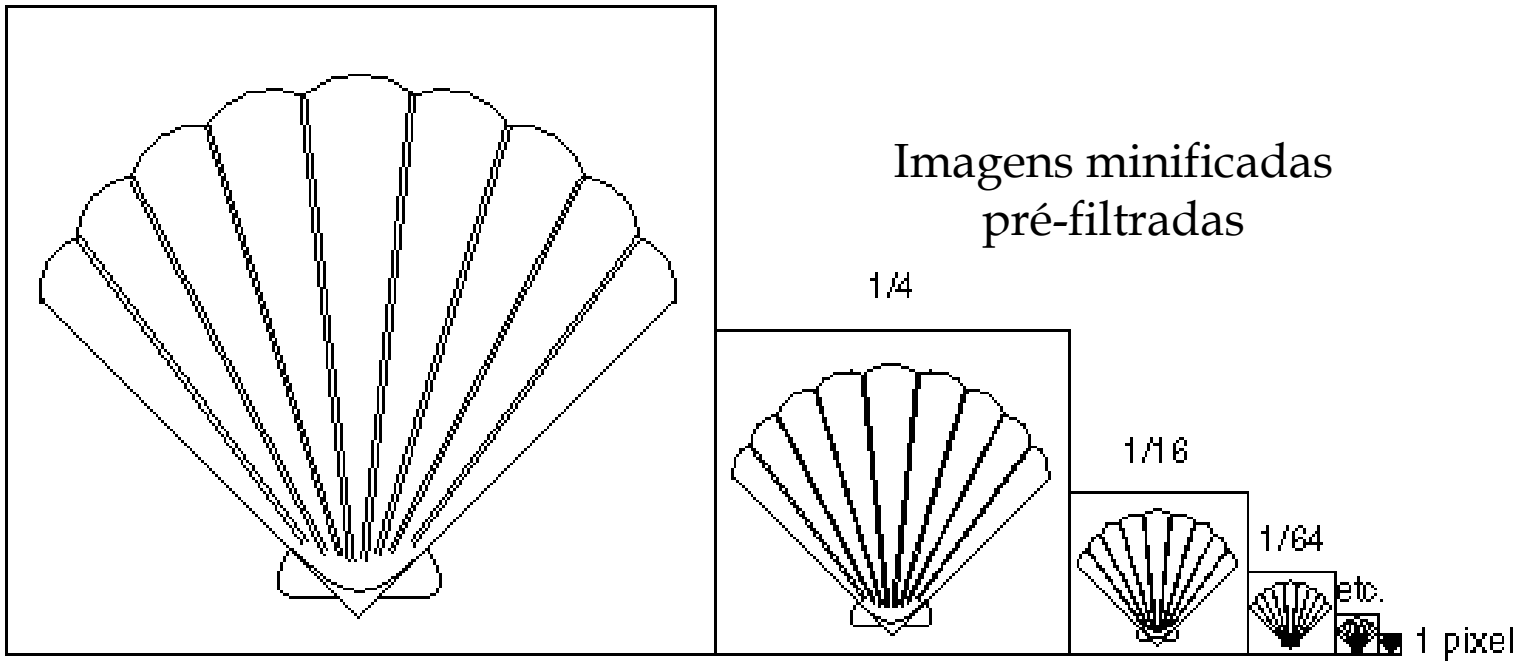


Textura Polígono

Minificação

Texturas Mipmap

Textura original



Texturas Mipmap

- Permite que texturas de diferentes níveis de resolução sejam aplicadas de forma adaptativa
- Reduz discretização devido a problemas de interpolação
- O nível da textura na hierarquia mipmap é especificada durante a definição da textura

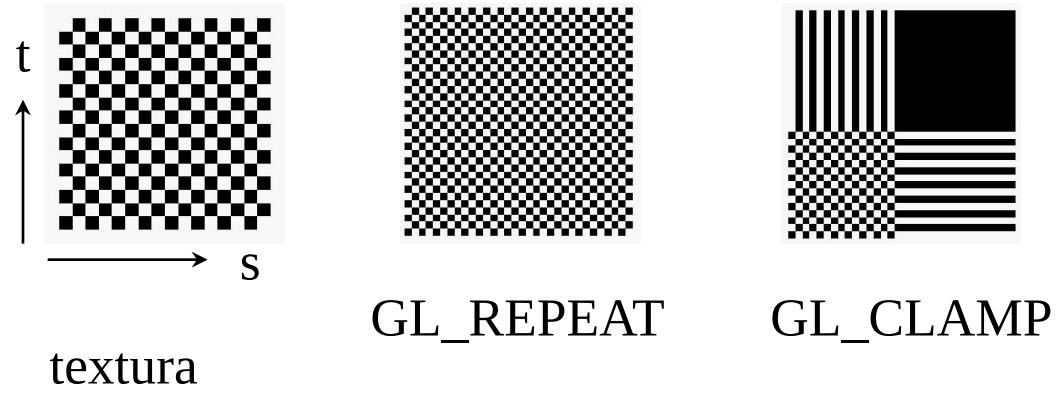
  `glTexImage*D( GL_TEXTURE_*D, level, … )`
- GLU possui rotinas auxiliares para construir texturas mipmap com filtragem adequada

  `gluBuild*DMipmaps( … )`
- OpenGL 1.2 suporta facilidades mais sofisticadas para níveis de detalhe (LOD)

Modos de Repetição

- Exemplo:

```
glTexParameteri( GL_TEXTURE_2D,
     GL_TEXTURE_WRAP_S, GL_CLAMP )
glTexParameteri( GL_TEXTURE_2D,
     GL_TEXTURE_WRAP_T, GL_REPEAT )
```



Modos de Aplicação de Textura

- Controla como a cor da textura afecta a cor do pixel

  `glTexEnv{fi}[v](`*`GL_TEXTURE_ENV, prop, param`* `)`
- Modos (*prop* = *`TEXTURE_ENV_MODE`*)
  - `GL_MODULATE`
  - `GL_BLEND`
  - `GL_REPLACE`
- Cor a ser misturada (`GL_BLEND`)
  - Especificada com *prop* = *`GL_TEXTURE_ENV_COLOR`*

Correcção Perspectiva

- Mapeamento de texturas em polígonos pode ser feito:
  - Da forma simples e rápida (interpolação linear)
  - Usando interpolação em coordenadas homogéneas
- Comportamento do OpenGL é influenciado por "dicas" ("*hints*")

  `glHint( GL_PERSPECTIVE_CORRECTION_HINT, hint )`

  onde *`hint`* pode ser
  - `GL_DONT_CARE`
  - `GL_NICEST`
  - `GL_FASTEST`
- O OpenGL não obedece necessariamente!

Outras Facilidades

- Objectos de Textura (Texture Objects)
  - Permite mudar rapidamente de texturas durante a renderização de diversos objectos
- Controlo de espaço na memória de texturas
  - Texturas residentes na placa são mais rápidas
- Multitexturas (Extensões OpenGL)
  - Placas + modernas (NVidia GeForce / ATI Radeon)
  - Mais de uma textura mapeada no mesmo objecto
  - Permite uma série de efeitos interessantes
    - *Shadow mapping*
    - *Bump mapping*