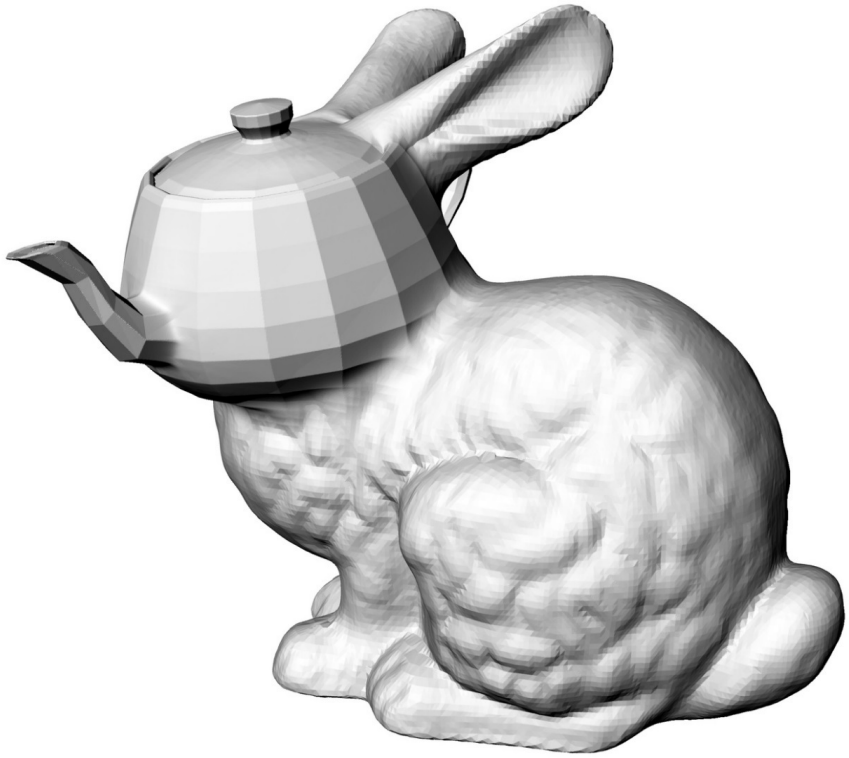
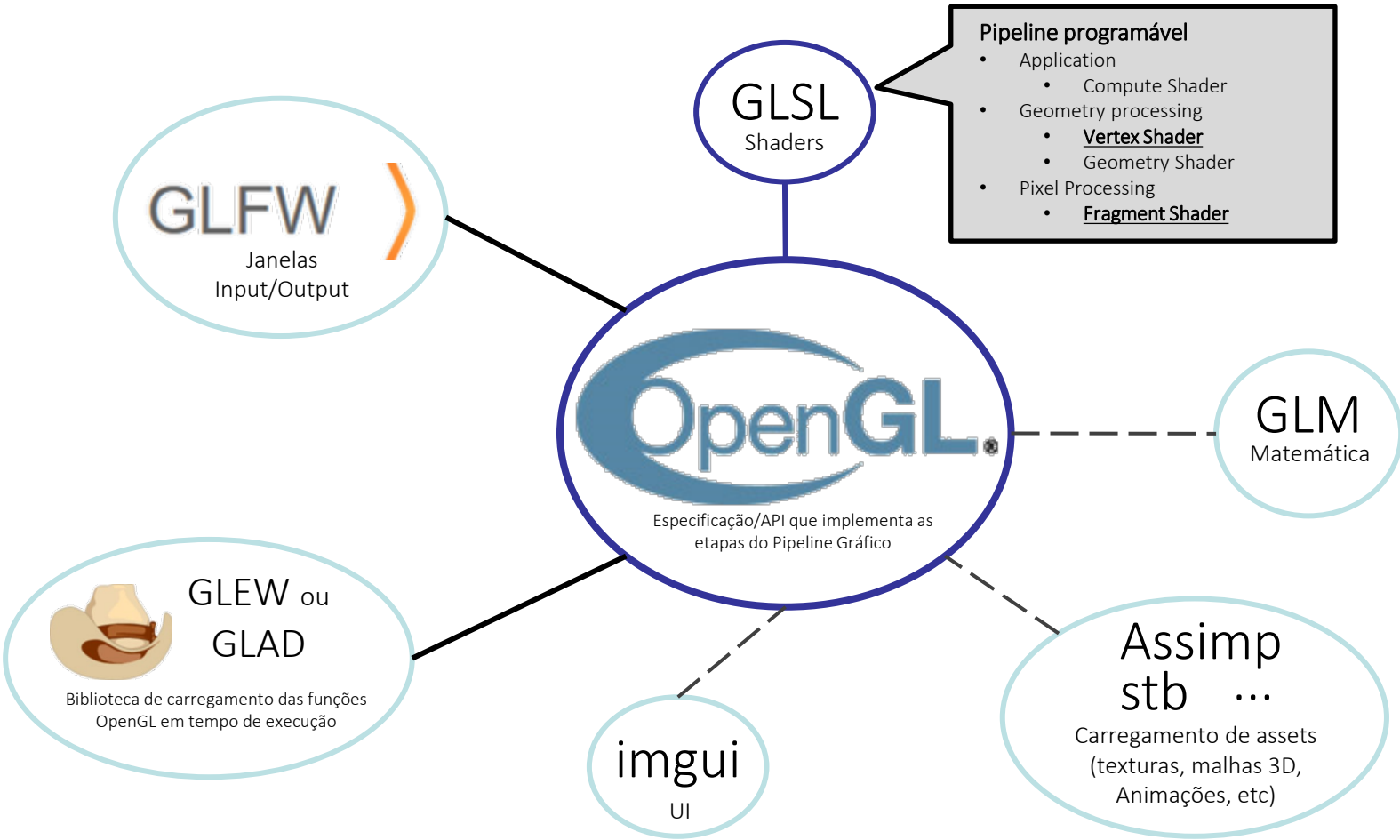


Introdução aos *shaders* (OpenGL moderna)

por Rossana B Queiroz

Nossa(s) ferramenta(s)

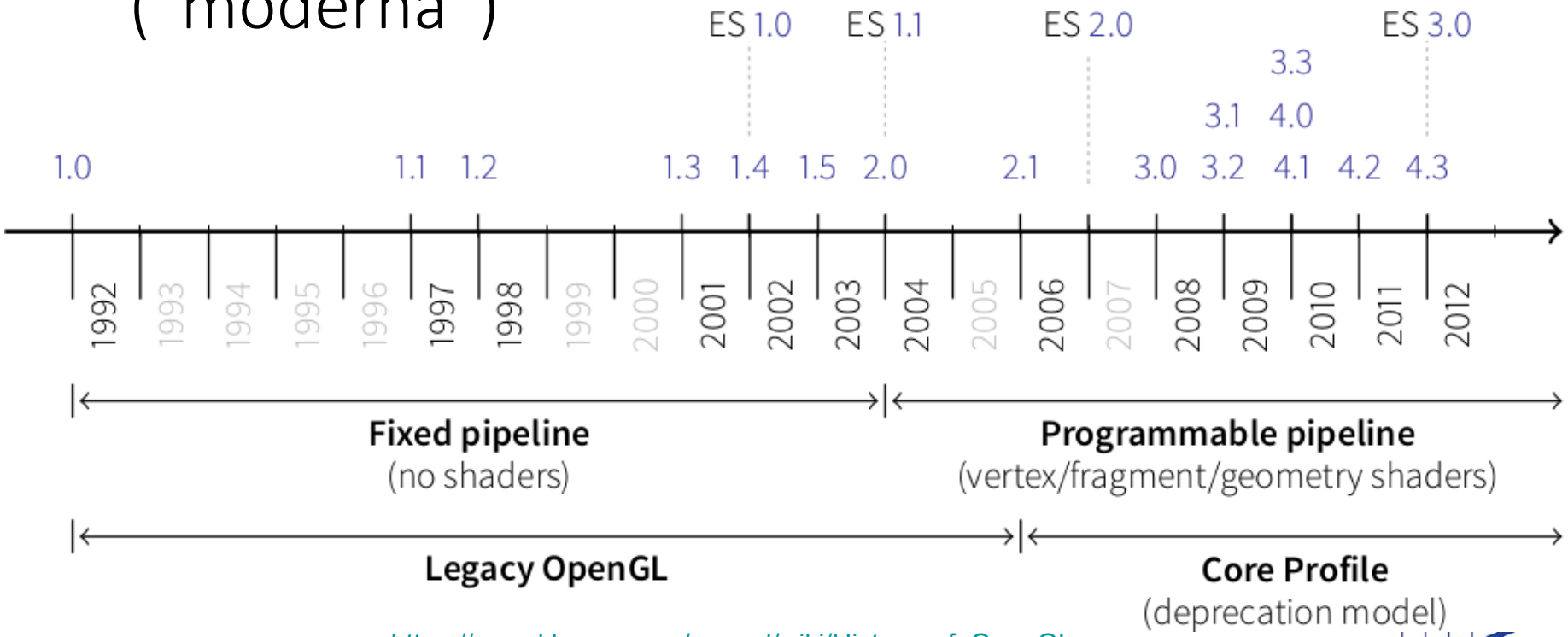


OpenGL moderno

- O que é OpenGL “moderno”?
  - Core-profile mode => força uso das práticas modernas
- A partir da versão OpenGL 3.3: modo imediato está descontinuado
  - Versões subsequentes utilizam a mesma abordagem do 3.3
  - Adicionam-se features ou maneiras mais inteligentes de realizar certas tarefas
  - A versão atual do OpenGL é a 4.6
  - Futuro = nova API, chamada Vulkan
- Usar a versão mais atual nem sempre é a melhor opção: apenas as GPUs mais modernas têm suporte

Versões

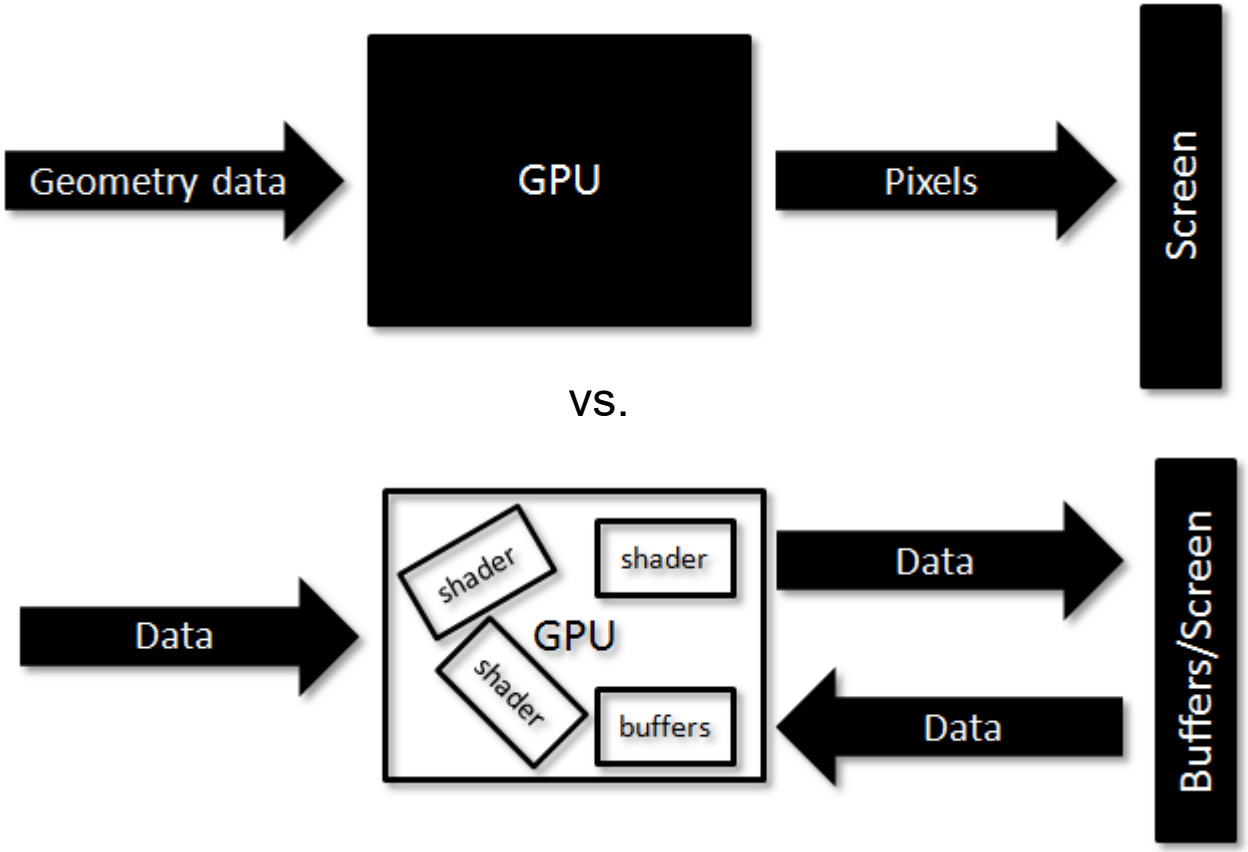
- OpenGL 2.0 (“antiga”) vs OpenGL 3.3+ (“moderna”)



https://www.khronos.org/opengl/wiki/History_of_OpenGL

Um pouco sobre a arquitetura

- Pipeline fixo vs. pipeline programável



GLEW/GLAD

- Ambas servem para o mesmo propósito: carregamento das funções OpenGL em tempo de execução
  - OpenGL é apenas um padrão/especificação.
    - **Cabe ao fabricante do driver implementar essa especificação em um driver que a placa gráfica suporte.**
  - A localização da maioria das funções do OpenGL não é conhecida em tempo de compilação e precisa ser consultada em tempo de execução
  - A recuperação dessas localizações é específica para o sistema operacional.
- Seu uso não é obrigatório, mas sem elas é necessário fazer o carregamento manualmente no código.

GLEW/GLAD

Características	GLEW	GLAD
Sistema Operacional	Windows, Linux, MacOS	Windows, Linux, MacOS
Linguagem	C, C++	C, C++ e Rust
Popularidade	Amplamente utilizado em projetos mais antigos, compatível com muitas tutoriais e exemplos antigos.	Mais recente e crescente em popularidade, especialmente em projetos modernos.
Facilidade de Uso	Fácil de usar, basta incluir e configurar. A configuração é mais direta em projetos simples.	Requer um processo de geração mais complexo, especialmente para quem não está familiarizado com ele.
Suporte a Contextos Modernos	Pode ter limitações em alguns contextos modernos, como suporte para perfis de núcleo (core profiles) mais novos do OpenGL.	Suporte robusto para contextos modernos, incluindo perfis de núcleo.
Tamanho da Biblioteca	É uma biblioteca maior, o que pode ser desnecessário para projetos que só precisam de funcionalidades específicas do OpenGL.	Gera código específico para o projeto, o que resulta em um código mais enxuto e otimizado.
Dependências	Requer a biblioteca estática ou dinâmica para funcionar.	Não possui dependências externas; gera o código necessário diretamente.
Customização	Menos flexível em termos de customização do que GLAD.	Muito personalizável, pois permite selecionar as extensões e versões do OpenGL necessárias durante a geração.
Manutenção e Atualizações	Menos atualizado, mas estável e bem testado ao longo dos anos.	Regularmente atualizado para suportar as mais recentes extensões e versões do OpenGL.
Configuração com CMake	Pode ser integrado, mas com uma configuração mais direta e limitada.	Suporte nativo ao CMake, facilitando a integração em projetos modernos.
Site Oficial	http://glew.sourceforge.net/, https://github.com/nigels-com/glew	https://glad.dav1d.de/, https://github.com/Dav1dde/glad

Pipeline programável do OpenGL

- Estágio de **Vertex** shading
  - Processa cada vértice separadamente
- Estágio de **Tesselation** shading
  - Gera geometria dentro do pipeline (com código)
- Estágio de **Geometry** shading
  - Processa cada primitiva separadamente
- Estágio de **Fragment** shading
  - Processa cada fragmento separadamente

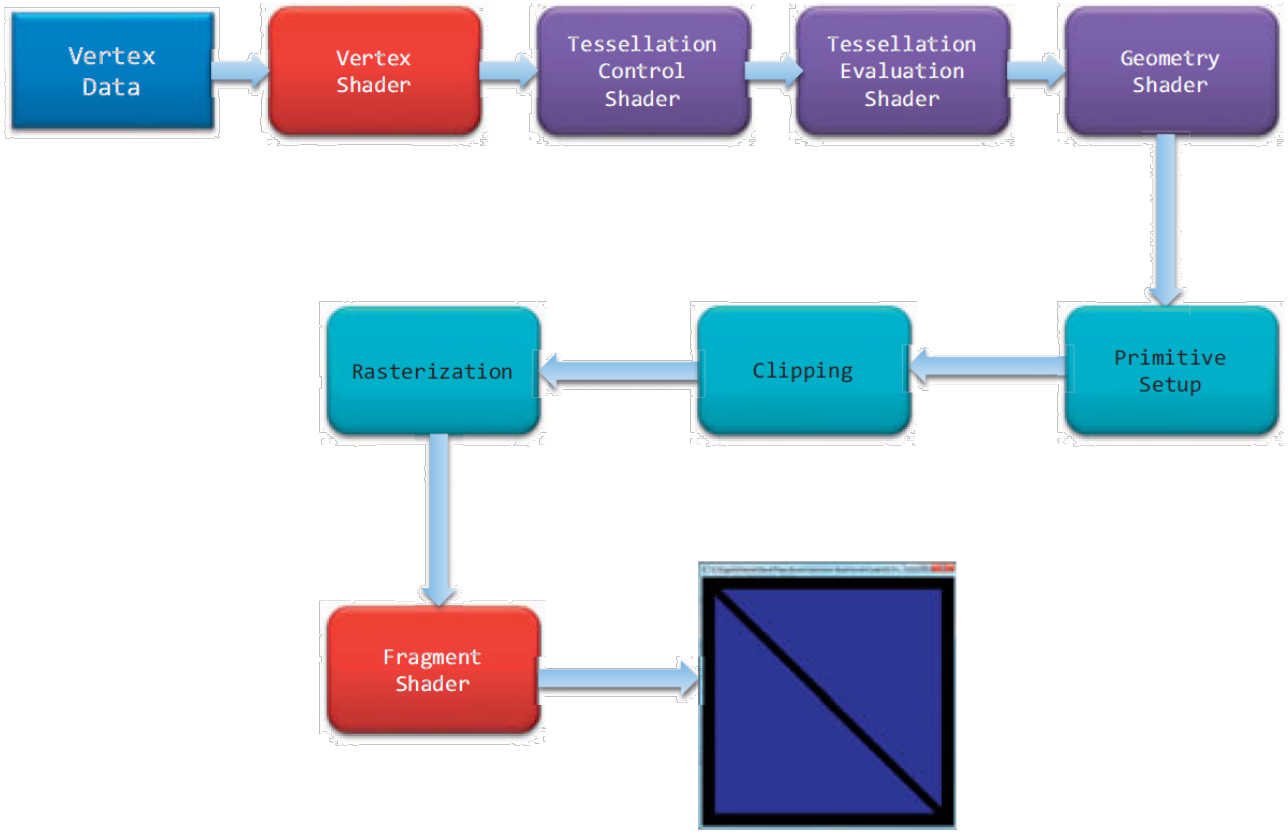
Pipeline programável do OpenGL

- Estágio de **Vertex** shading
  - Processa cada vértice separadamente
- Estágio de **Tesselation** shading
  - Gera geometria dentro do pipeline (com código)
- Estágio de **Geometry** shading
  - Processa cada primitiva separadamente
- Estágio de **Fragment** shading
  - Processa cada fragmento separadamente

OPCIONAL

Pipeline programável do OpenGL

- Conforme o OpenGL Programming Guide 4.3:



Shaders

- Shaders dizem ao OpenGL **como** desenhar algo
- São **mini-programas** que definem o estilo de renderização
- Compilados para rodar na GPU
  - Grande quantidade de processadores

Linguagens de Shader

Linguagem de Shader	Descrição	Uso Principal	Plataformas
GLSL (OpenGL Shading Language)	Linguagem associada ao OpenGL, usada para criar shaders que manipulam vértices, pixels e calculam iluminação.	Programação gráfica em OpenGL	Multiplataforma (Windows, Linux, MacOS, etc.)
HLSL (High-Level Shading Language)	Desenvolvida pela Microsoft, utilizada com DirectX para criar gráficos avançados em jogos e aplicações.	Jogos e gráficos no DirectX	Windows, Xbox
Cg (C for Graphics)	Criada pela NVIDIA, semelhante ao C, foi usada tanto com OpenGL quanto DirectX, mas é menos popular hoje em dia.	Desenvolvimento gráfico (OpenGL e DirectX)	Multiplataforma, mas menos usada atualmente
MSL (Metal Shading Language)	Linguagem usada pela Apple para a API Metal, otimizando gráficos em dispositivos iOS e macOS.	Gráficos de alta performance	iOS, macOS
SPIR-V	Formato intermediário para shaders, usado por Vulkan; permite portabilidade entre diferentes linguagens de shader.	API Vulkan	Multiplataforma

Shaders

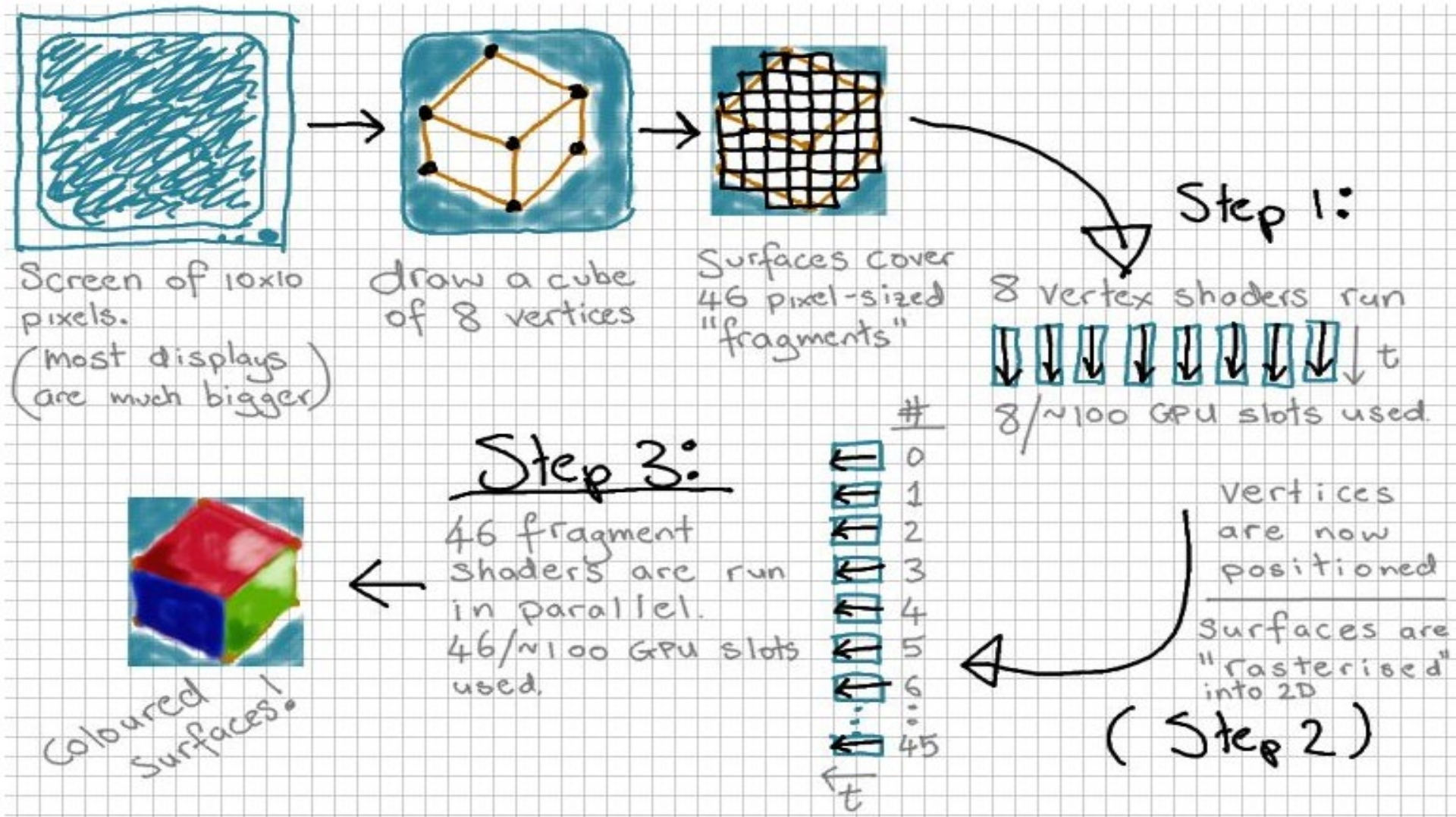
- Vertex Shaders: descrevem como tratar um vértice
  - Posição (3D → 2D)
  - Coordenadas de Textura
  - Cor
- Fragment Shaders: descrevem como tratar uma área (pixel-size)
  - Cor
  - Z-depth
  - Alpha value
- Processados paralelamente
  - Um para cada vértice de um modelo
  - Um para cada fragmento

Shaders

- Cada estágio de renderização pode ser dividido em processos separados (*pipeline* gráfico)
- Cada processo pode ser feito em um dos processadores disponíveis na GPU
  - Transformar cada vértice separadamente
  - Colorir cada fragmento separadamente
- Isso significa que podemos processar grande parte da renderização em paralelo!

Pipeline Gráfico

[Anton's 2014]

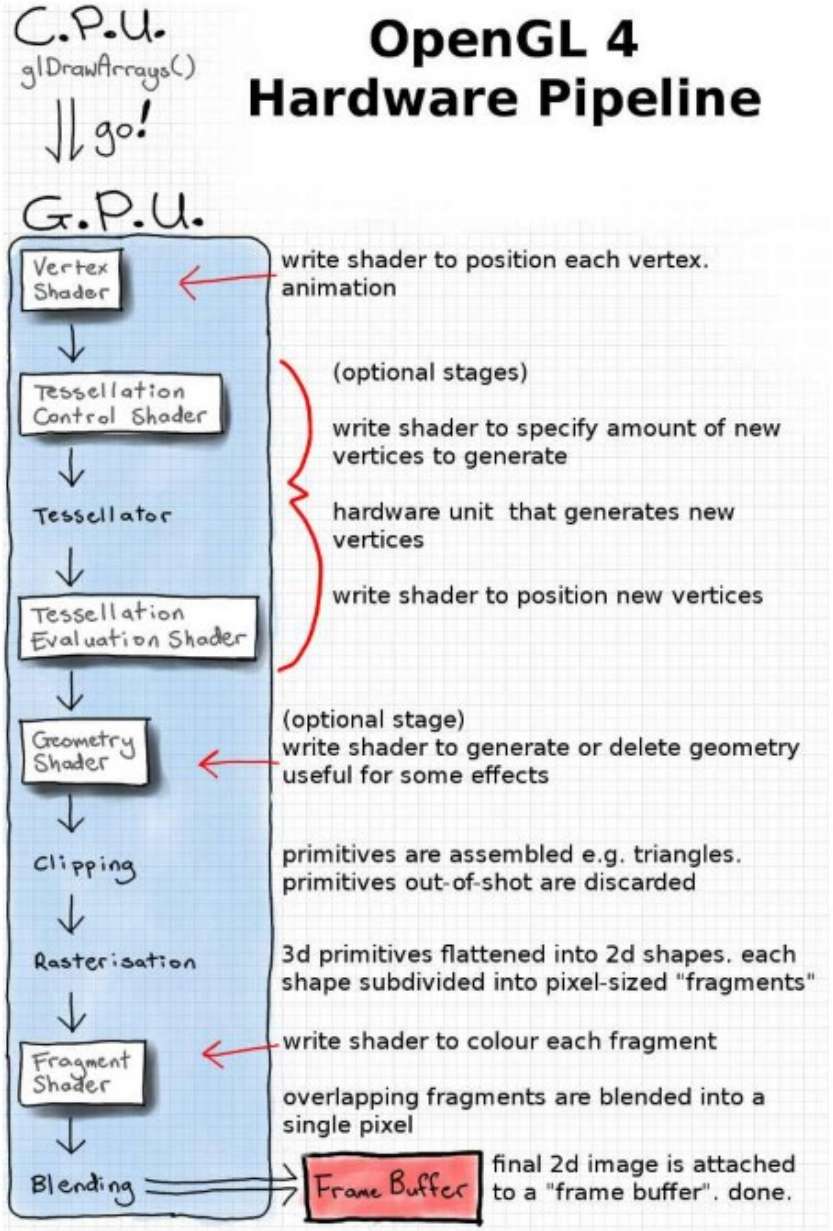


Shaders

- Shaders são uma forma de **reprogramar** o pipeline gráfico

- Se quisermos usar uma **cor** diferente ou **animar** e **girar** um objeto, podemos dizer ao OpenGL para usar um programa de shader diferente.

- Todos os estágios do pipeline gráfico que ocorrem na **GPU** são chamados de **pipeline do hardware**



Um **Programa de Shader** compreende um conjunto de shaders (mini-programas) que controlam cada estágio

Todo o conjunto é compilado para gerar um único programa de shader

No mínimo **1 vertex shader** e **1 fragment shader**.

[Anton's 2014]

Paralelismo

- Programas de shader rodam na GPU e são altamente **paralelizados**
- Cada vertex shader atua apenas em **1** vértice
- Malha de **2000** vértices?
  - 2000 vertex shaders serão executados ao desenhar
- Dependendo do **nº de processadores** da GPU, é possível rodar toda malha em paralelo!

Comparação de GPUs

GeForce 605	48 shader cores
Radeon HD 7350	80 shader cores
GeForce GTX 580	512 shader cores
Radeon HD 8750	768 shader cores
GeForce GTX 690	1536 shader cores
Radeon HD 8990	2304 shader cores

[Anton's 2014]

Paralelismo - Otimização

- Só podemos mandar desenhar **um conjunto de primitivas por vez (buffer VAO)**
  - Manter o número de malhas separadas **baixo**
    - Ou seja, tentar juntar o máximo de objetos em uma **única malha** (se possível)
- A ideia é usar o máximo de processadores em **paralelo**
- Cada chamada de desenho (*drawcall*) é uma chamada à execução de um dos programas de shader da aplicação, atuando sobre um conjunto de primitivas gráficas (buffer)

O segredo é minimizar o número de *drawcalls*

Programação de Shaders

- Na OpenGL 4 os shaders são programados em **GLSL** (OpenGL Shader Language)
- A primeira linha deve conter a **versão** simplificada do GLSL

- OpenGL 1.2 - no GLSL - no tag
- OpenGL 2.0 - GLSL 1.10.59 - #version 110
- OpenGL 2.1 - GLSL 1.20.8 - #version 120
- OpenGL 3.0 - GLSL 1.30.10 - #version 130
- OpenGL 3.1 - GLSL 1.40.08 - #version 140
- OpenGL 3.2 - GLSL 1.50.11 - #version 150
- OpenGL 3.3 - GLSL 3.30.6 - #version 330
- OpenGL 4.0 - GLSL 4.00.9 - #version 400
- OpenGL 4.1 - GLSL 4.10.6 - #version 410
- OpenGL 4.2 - GLSL 4.20.6 - #version 420
- OpenGL 4.3 - GLSL 4.30.6 - #version 430

[Anton's 2014]

Tipos de Dados em GLSL

- **`void`** – vazio, funções que não retornam valor
- **`bool`** – valor booleano
- **`int`** – valor inteiro com sinal
- **`float`** – valor de ponto flutuante
- **`vec3`** – ponto flutuante 3D (pontos e vetores de direção)
- **`vec4`** - ponto flutuante 4D (pontos, vetores de direção, cores)
- **`mat3`** – matrix 3x3 de ponto flutuante (transformações)
- **`mat4`** – matrix 4x4 de ponto flutuante (transformações)
- **`sampler2D`** – textura 2D carregada de uma imagem
- **`samplerCube`** – textura com 6 lados para sky-box
- **`sampler2DShadow`** – sombra projetada numa textura

Nomes de arquivo

- Os shaders podem ser escritos em arquivo texto ou armazenados como um array de caracteres
- É comum armazenar cada shader em um arquivo texto separadamente
- Exemplos de nomenclatura:
  - Cube_vs.glsl
  - Cube_fs.glsl
  - Map_vs.glsl
  - Map_fs.glsl

Vertex Shader

- Responsável por **posicionar** os vértices nas coordenadas finais
- Antes que o OpenGL **rasterize** (achate) a geometria para o 2D
- O shader abaixo recebe as posições dos vértices e joga na saída

```
#version 410

layout (location = 0) in vec3 vertex_position;

void main()
{
    gl_Position = vec4(vertex_position, 1.0);
}
```

Vertex Shader

- **`in`**: variável de entrada para o shader vinda do estágio anterior do pipeline
  - No caso, vinda dos Vertex Buffers
- **`out`**: envia a variável para o próximo estágio do pipeline
- **`gl_Position`**: define a posição final de determinado vértice

```
#version 410

layout (location = 0) in vec3 vertex_position;

void main()
{
    gl_Position = vec4(vertex_position, 1.0);
}
```

Será executada uma instância para cada vértice contido no Vertex Buffer

Fragmentos x Pixels

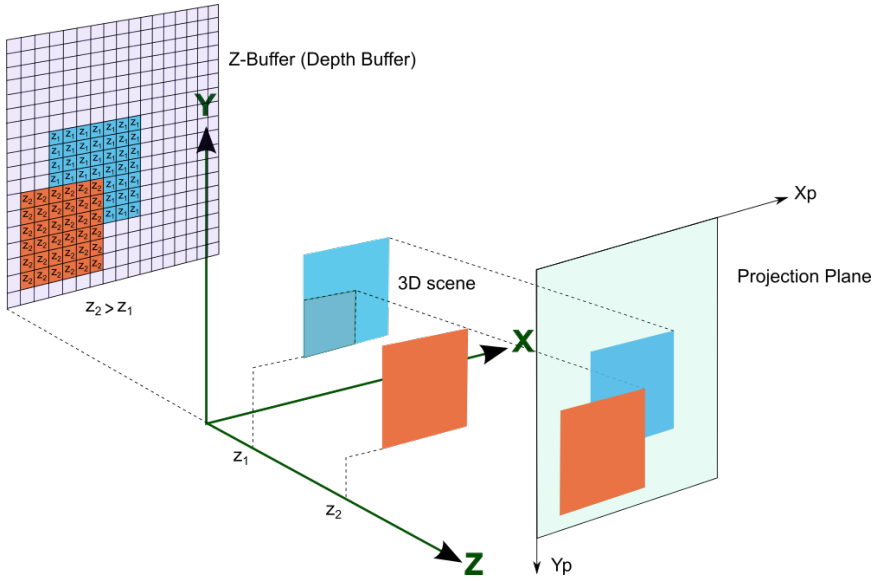
- Pixel (Picture Element)
  - Elementos que compõem a imagem 2D, que será exibida na matriz da tela
- Fragmento
  - Área de uma superfície que possui o tamanho de um pixel
  - “Candidatos a pixel”
- O fragment shader determina a cor de cada fragmento
  - Cor que efetivamente o pixel terá

Fragmentos x Pixels

- Muitas vezes as superfícies se **sobrepõem**
  - Logo, temos mais de 1 fragmento por pixel.
- Por padrão, todos os fragmentos são desenhados, até mesmo os que estão ocultos.

Fragmentos x Pixels

- Para evitar a redundância: **Depth Testing**
  - Desenha apenas os fragmentos mais a frente, ignorando os que estão mais afastados



Fragment Shader

- Uma vez que todos os vertex shaders processaram a posição final de todos os vértices, os fragment shaders rodam para cada fragmento entre os vértices
- Responsável por definir a **cor** de cada fragmento

```
#version 410
uniform vec4 inputColor;
out vec4 color;

void main()
{
        color = inputColor;
}
```

Fragment Shader

- **`uniform`**: shader recebe como entrada uma variável vinda da CPU
  - Esta variável é global a todos os shaders
  - Ou seja, seria possível acessá-la do vertex shader se quiséssemos
- Cores RGBA variam de 0.0 a 1.0 (não de 0 a 255) – são normalizadas

```
#version 410
uniform vec4 inputColor;
out vec4 color;

void main()
{
        color = inputColor;
}
```

Enviando dados para a GPU

- Exemplo (enviando uma cor)
  - Selecionar o programa de shader ao qual quer enviar

```
glUseProgram(shaderProgram);
```

  - Geração do identificador e envio

```
//Enviando a cor desejada (vec4) para o fragment shader
GLint colorLoc = glGetUniformLocation(shaderProgram, "inputColor");
assert(colorLoc > -1);
glUniform4f(colorLoc, 1.0f, 0.0f, 0.0f, 1.0f);
```

Enviando dados para a GPU

Código do shader (GLSL)

```
#version 410
uniform vec4 inputColor;
out vec4 color;

void main()
{
        color = inputColor;
}
```

Este nome deve ser o mesmo do código em GLSL!!!!!!!

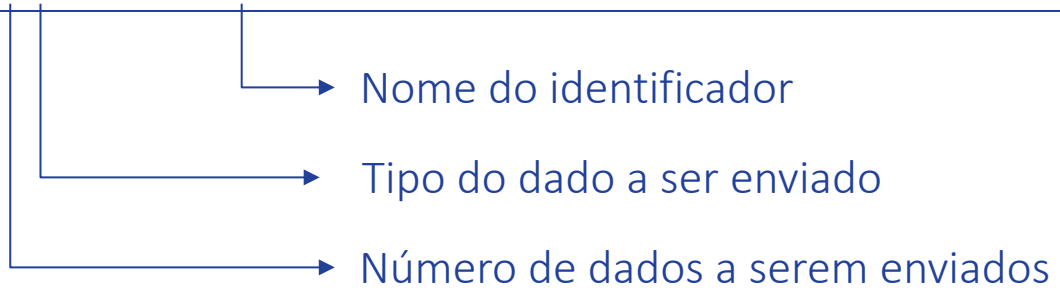
Código em C++

```
//Enviando a cor desejada (vec4) para o fragment shader
GLint colorLoc = glGetUniformLocation(shaderProgram, "inputColor");
assert(colorLoc > -1);
glUniform4f(colorLoc, 1.0f, 0.0f, 0.0f, 1.0f);
```

Enviando dados para a GPU

- O comando para envio varia de acordo com o tipo de dado

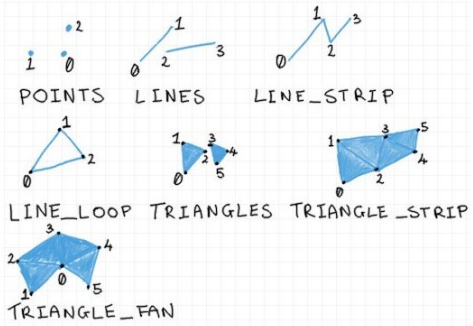
```
glUniform4f(colorLoc, 1.0f, 0.0f, 0.0f, 1.0f);
```



https://www.khronos.org/registry/OpenGL-Refpages/gl4/html/glUniform.xhtml

Desenhando primitivas

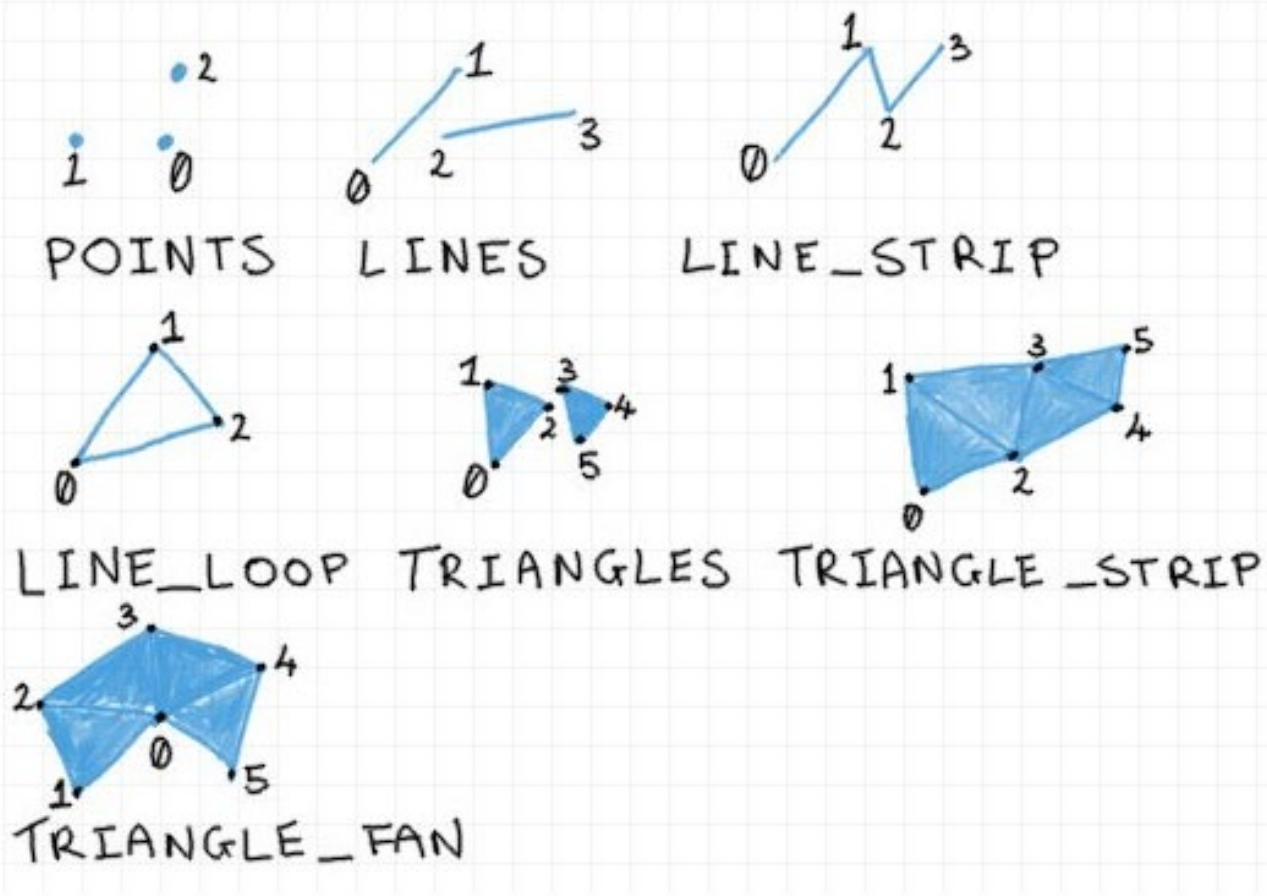
- **`glDrawArrays(`**`<mode>, <first>, <count>`**`)`**
  - **`mode`**: tipo de primitiva a desenhar
    - **`GL_POINTS, GL_LINES, GL_TRIANGLES...`**
  - **`first`**: índice inicial do VAO ativo
  - **`count`**: número de índices a serem renderizados



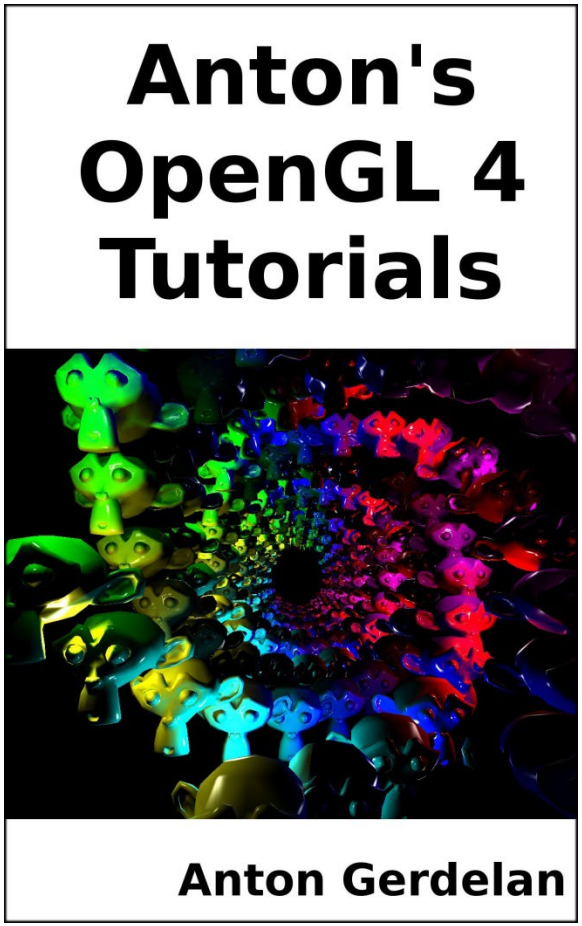
- Exemplo
  - `glDrawArrays (GL_TRIANGLES, 0, 3);`

[Anton's 2014]

Desenhando Primitivas



Referências bibliográficas



Ebook para Kindle

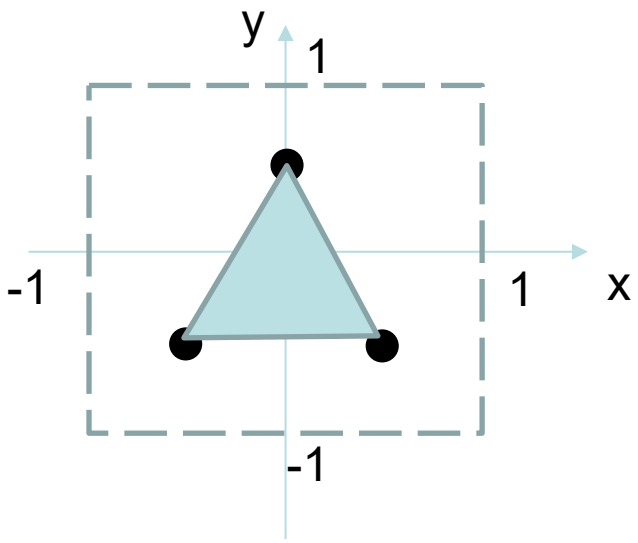
Muitos materiais online disponíveis em:

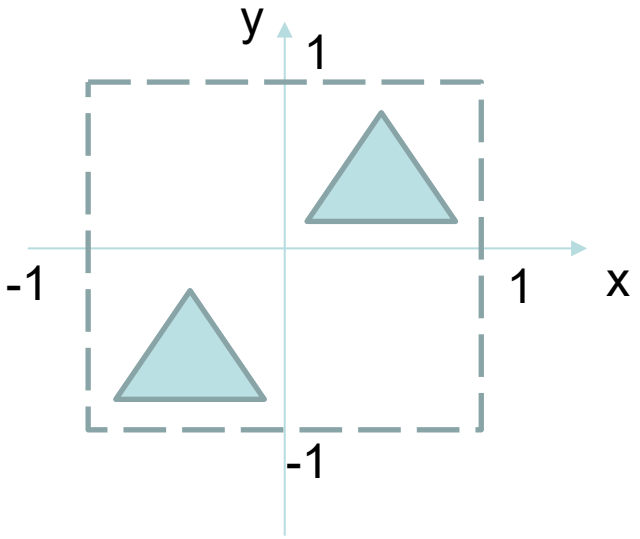
http://antongerdelan.net/opengl/

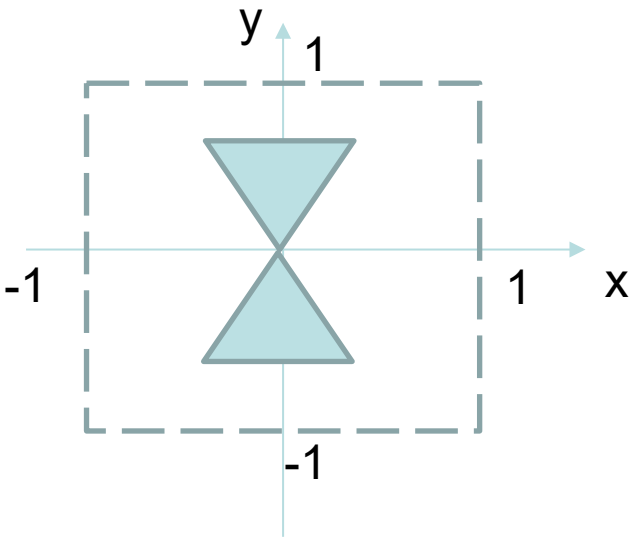
Referências bibliográficas

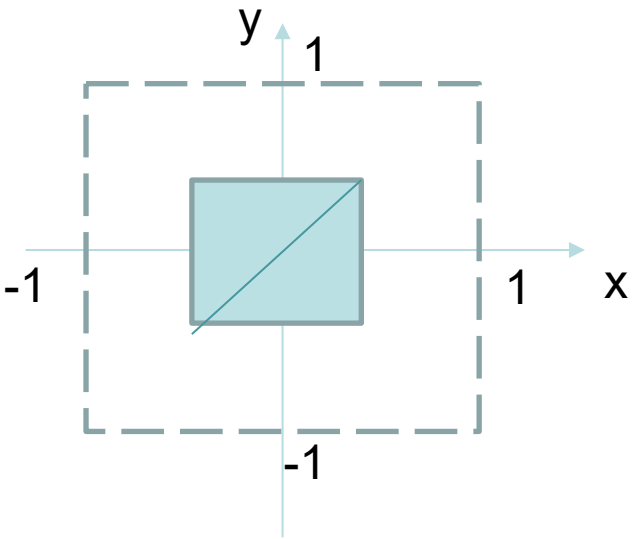
- Leituras recomendadas (LearnOpenGL e Anton's OpenGL 4 Tutorials)

- Slides sobre CG dos professores: Christian Hofsetz, Cristiano Franco, Marcelo Walter, Soraia Musse, Leandro Tonietto e Rafael Hocevar


y
1
-1
1
x
-1


y
1
-1
1
x
-1


y
1
-1
1
x
-1


y
1
-1
1
x
-1

Equação Paramétrica do Círculo
Trigonometria

Achar x e y de cada ponto

Usar primitiva de desenho
GL_TRIANGLE_FAN