DCC192

2025/1

UFMG

Desenvolvimento de Jogos Digitais

A27: Gráficos 3D — Transformações

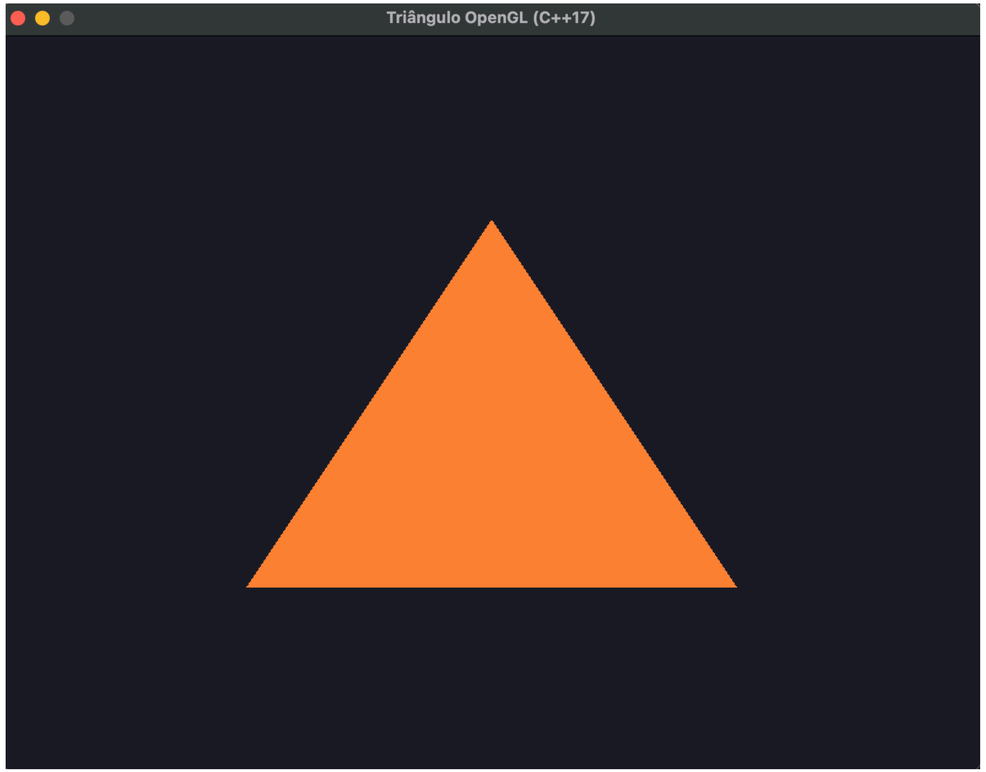
Prof. Lucas N. Ferreira

Plano de Aula

- Mais detagles de OpenGL e GLSL
- Especificando Múltiplos Objetos
- Transformações
  - Translação, Rotação e Escala
  - Coordenadas Homogêneas
- Matrizes de Transformação em OpenGL/GLSL

Primeiro programa em OpenGL/GLSL

Na última aula, vimos rapidamente um programa em OpenGL/GLSL com SDL para desenhar um triângulo na tela. Vamos entender quais são as partes que compõe esse programa:



1. Inicialização da SDL com OpenGL
2. Definir os vértices dos modelos e configurar buffers:
   - Vertex Array Object (VAO)
   - Vertex Buffer Object (VBO)
   - Index Buffer Objects (IBO)
3. Escrever, compilar e linkar os vertex e fragment shaders
4. Limpar a tela e desenhar vértices

https://gist.github.com/lucasnfe/ec06ac5b7a0c44a0d3af4c87758536ad

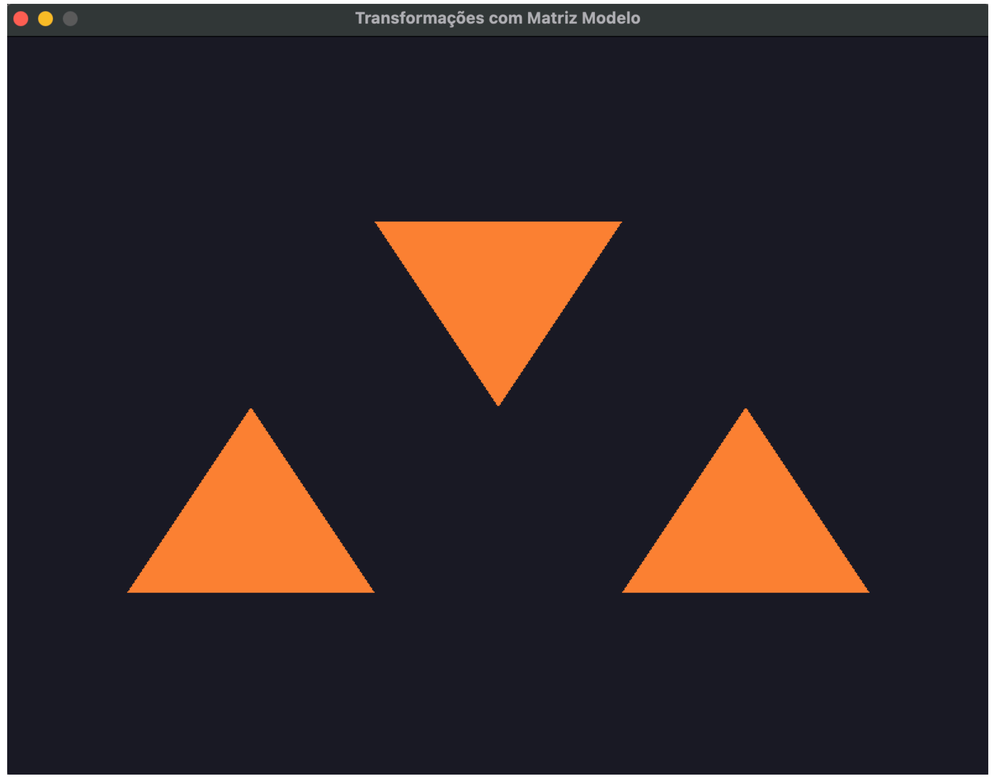
Definir os vértices dos modelos e configurar buffers

- Vertex Array Object (VAO): armazena o estado de configuração dos atributos de vértice
- Vertex Buffer Object (VBO): armazena os dados brutos dos vértices
- Index Buffer Objects (IBO): armazena índices que definem quais vértices desenhar e em que ordem

```
// Define os vértices de um triângulo em coordenadas normalizadas
float vertices[] = {-0.5f, -0.5f, 0.5f, -0.5f, 0.0f,  0.5f };

// Cria e configura VAO (Vertex Array Object) e VBO (Vertex Buffer Object)
GLuint VAO, VBO;
glGenVertexArrays(1, &VAO);
glGenBuffers(1, &VBO);

glBindVertexArray(VAO); // Ativa VAO
glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, VBO); // Liga VBO
glBufferData(GL_ARRAY_BUFFER, sizeof(vertices), vertices, GL_STATIC_DRAW); // Envia dados

// Informa como interpretar os dados do VBO (layout)
glVertexAttribPointer(0, 2, GL_FLOAT, GL_FALSE, 2 * sizeof(float), (void*)0);
glEnableVertexAttribArray(0); // Ativa atributo de vértice 0
```

Transformações Geométricas

Em jogos, é muito comum termos que criar múltiplas instâncias de um mesmo objeto. Para fazer isso, podemos utilizar a mesma lista de vérices e aplicar transformações geométricas:

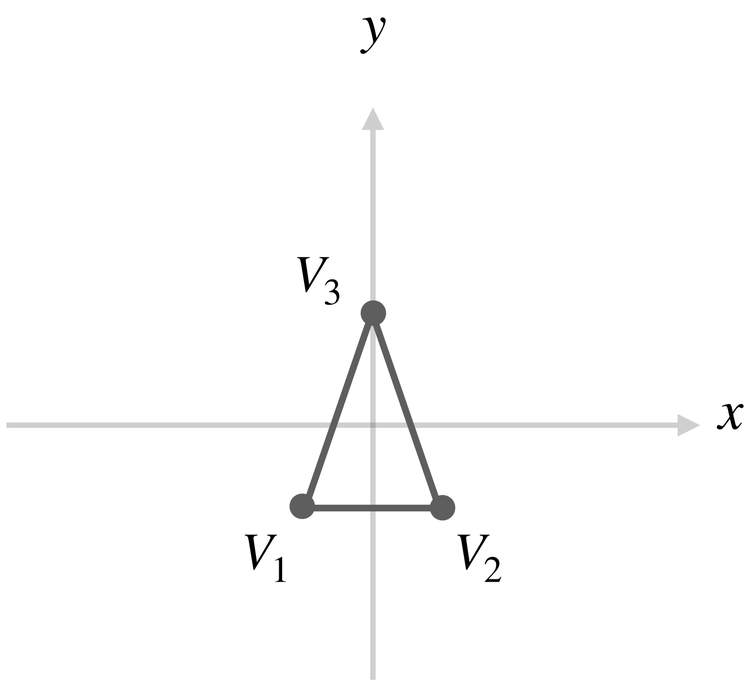


- Em computação gráfca, existem três tipos de transformações geométricas mais importantes:
  - Translação
  - Rotação
  - Escala
- Cada transformação é representada por uma matriz, que são combinadas em uma única matriz final chamada de *model matrix*
- A *model matrix* é enviada a ao vertex shader, que realiza a multiplicaçãm em todos os vértices em paralelo.

https://gist.github.com/lucasnfe/bd7c8f8ffc28db956451cb9386dc83a3

Translação

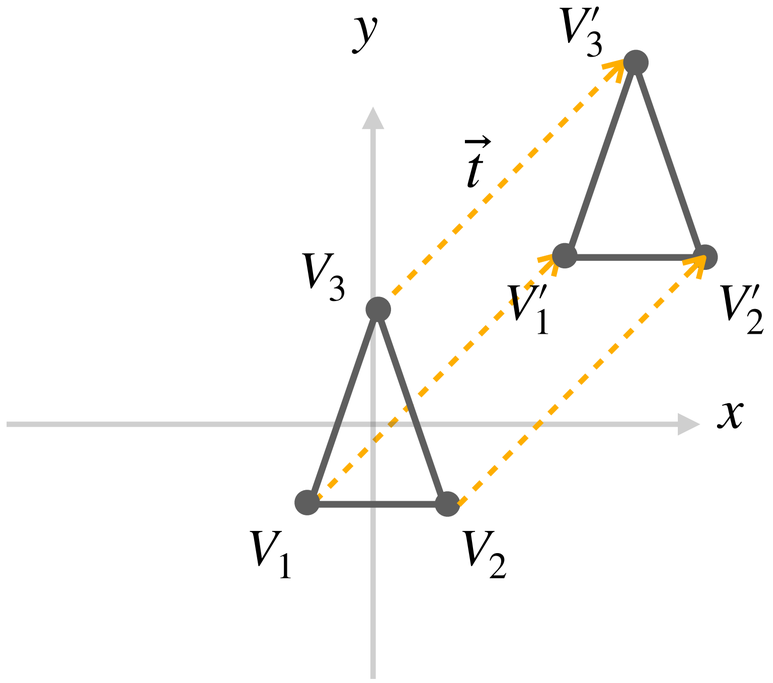
Para realizar uma transformação de translação, basta somar um dado vetor de deslocamento $\vec{t}$ a todos os vértices V_i do modelo:



$$V' = V + \vec{t}$$

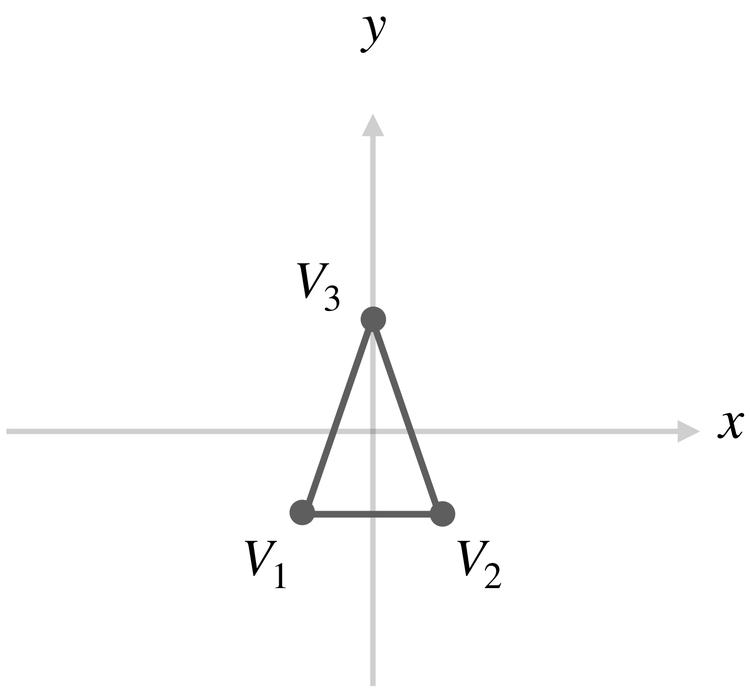
$$V' = \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix}$$

- t_x: deslocamento em x
- t_y: deslocamento em y
- t_z: deslocamento em z



Escala

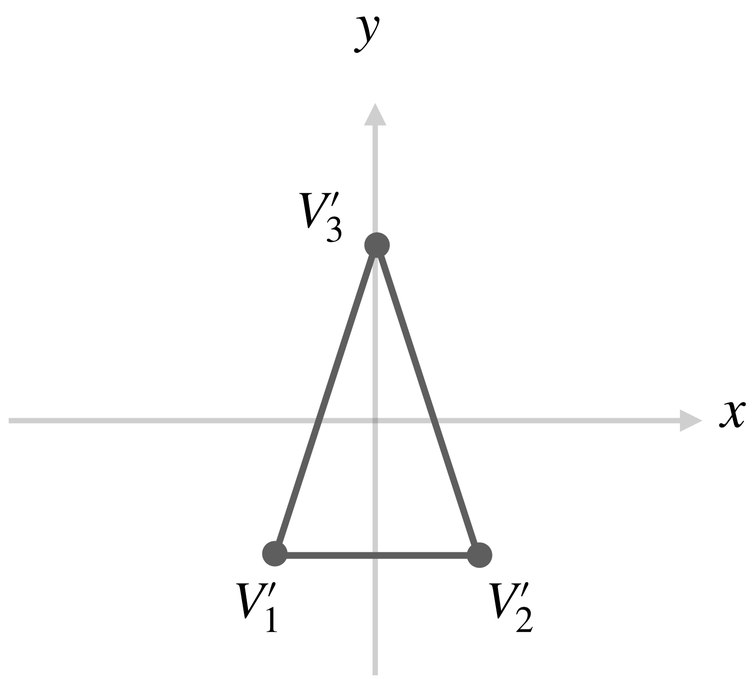
Para realizar uma transformação de escala, basta multiplicar uma matriz diagonal S por todos os vértices do modelo. As diagonais representam os fatores de escala:



$$V' = S \cdot V$$

$$V' = \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 \\ 0 & 0 & s_z \end{bmatrix} \cdot V$$

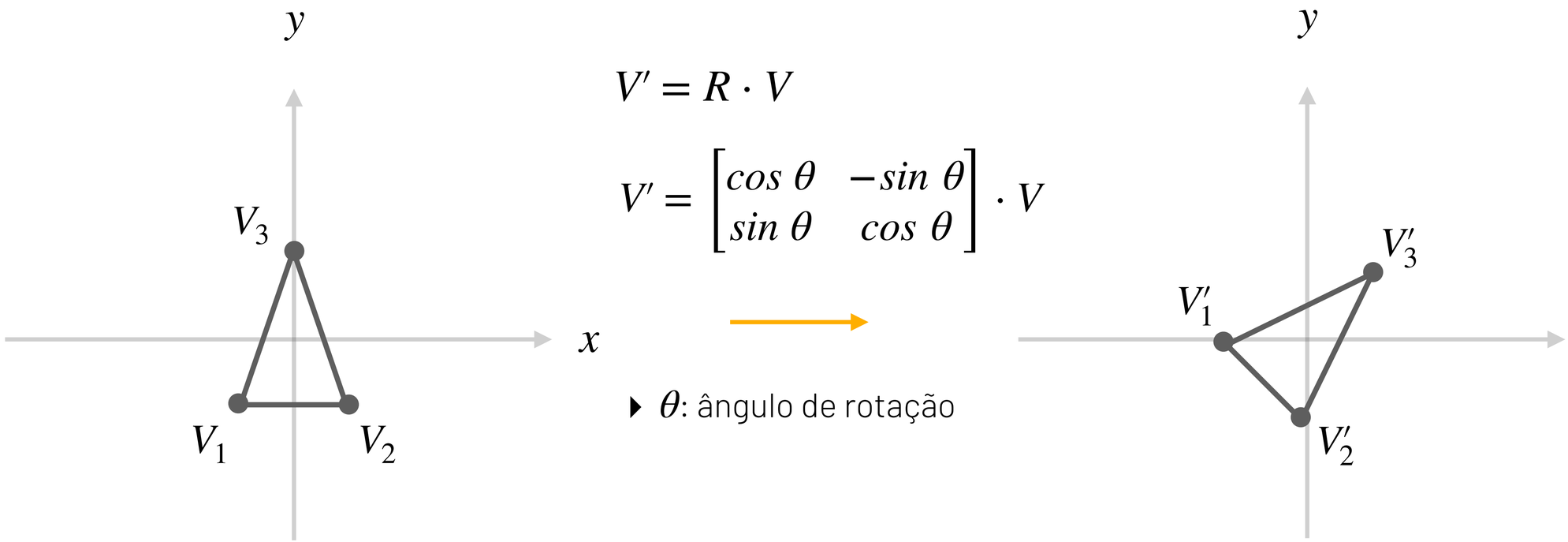
- s_x: escala em x
- s_y: escala em y
- s_z: escala em z



É importante observar que se o modelo não estivesse centralizado no sistema de coordenadas, a escala também mudaria sua posição.

Rotação em 2D

Como vimos em aulas anteriores, para realizar uma transformação de rotação em 2D, basta multiplicar uma matriz de rotação R por todos os vértices do modelo:

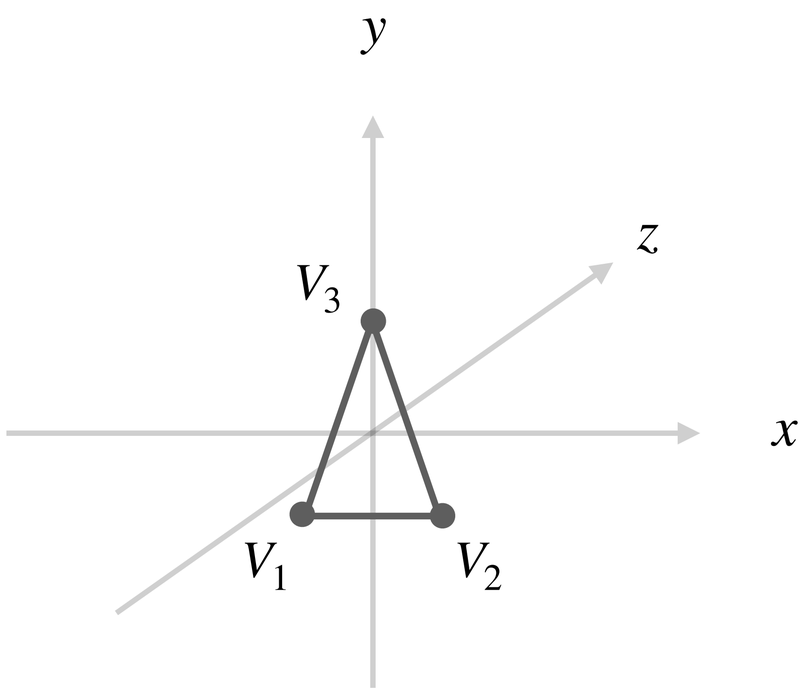


- θ: ângulo de rotação

É importante observar que se o modelo não estivesse centralizado no sistema de coordenadas, a rotação também mudaria sua posição.

Rotação em 3D

Em um espaço tridimensional, temos 3 diferentes eixos para fazer a rotação: x, y e z. As matrízes de rotação são diferentes para cada eixo:



$$\xrightarrow{x} \quad V' = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & cos\theta & -sin\ \theta \\ 0 & sin\theta & cos\ \theta \end{bmatrix} \cdot V$$

$$\xrightarrow{y} \quad V' = \begin{bmatrix} cos\theta & 0 & sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -sin\theta & 0 & cos\ \theta \end{bmatrix} \cdot V$$

$$\xrightarrow{z} \quad V' = \begin{bmatrix} cos\theta & -sin\ \theta & 0 \\ sin\ \theta & cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot V$$

A rotação no eixo z é a mesma rotação que fazemos em 2D.

Coordenadas Homonêneas

É mais eficiente (evita tráfego CPU x GPU) combinar as transformações geométricas em uma única matriz de transformações. Para isso, podemos fazer as seguintes manipulações:

1. Adicionar uma dimensão $w = 1$ aos vértices:

$$V_i$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ w \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

(3D)

2. Representar as tranformações com uma matriz 4×4:

$$T(t_x, t_y, t_z) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ t_x & t_y & t_z & 1 \end{bmatrix}$$

$$S(s_x, s_y, s_z) = \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & s_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

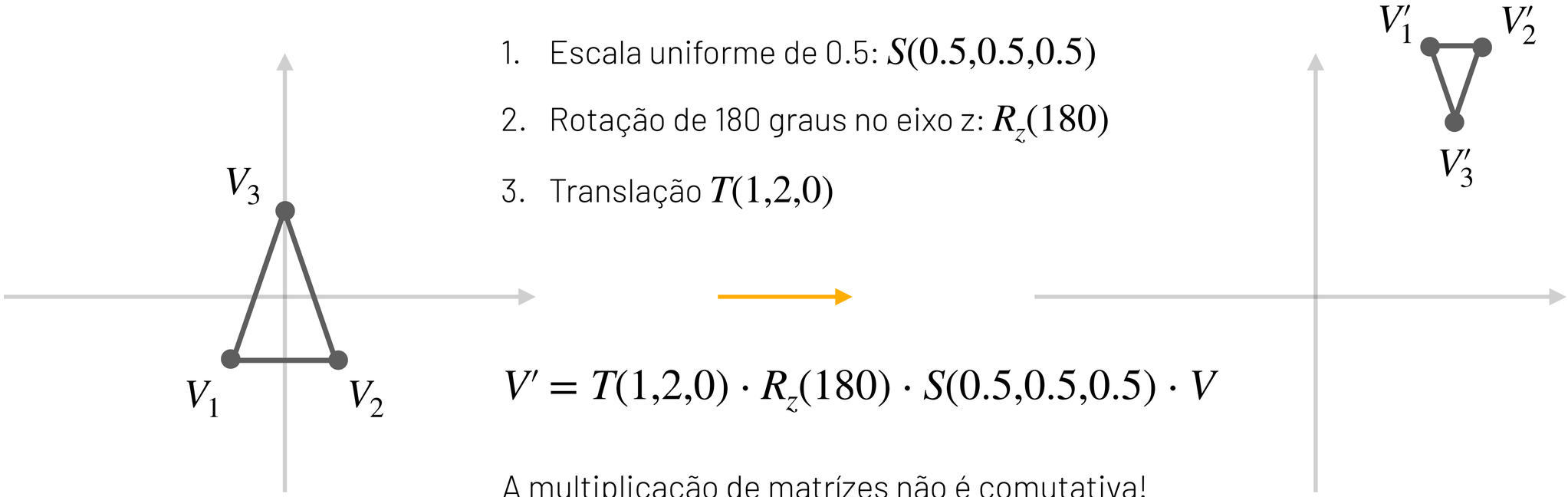
$$R_x(\theta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & cos\ \theta & -sin\ \theta & 0 \\ 0 & sin\ \theta & cos\ \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R_x(\theta) = \begin{bmatrix} cos\ \theta & 0 & sin\ \theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -sin\ \theta & 0 & cos\ \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R_x(\theta) = \begin{bmatrix} cos\ \theta & -sin\ \theta & 0 & 0 \\ sin\ \theta & cos\ \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Coordenadas Homonêneas

Utilizando coordenadas homogêneas, podemos relizar composições de transformações multiplicandos as matrizes de transformação:



1. Escala uniforme de 0.5: $S(0.5,0.5,0.5)$
2. Rotação de 180 graus no eixo z: $R_z(180)$
3. Translação $T(1,2,0)$

$$V' = T(1,2,0) \cdot R_z(180) \cdot S(0.5,0.5,0.5) \cdot V$$

A multiplicação de matrízes não é comutativa!

- Mesmas transformações em ordens diferentes podem gerar resultados diferentes!
- Fazemos a escala e a rotação primeiro, pois elas são afetadas pela translação

Criando Matrizes de Transormação em OpenGL

Como os modelos podem possuir muitos vértices, é mais eficiente aplicar as transformações na GPU. Para isso, criamos e combinamos as matrízes na CPU e enviá-las ao Vertex Shader:

CPU

1. Buscar o endereço da matriz (uniform) no shader
2. Criar uma matriz 4×4 de transformação na CPU
3. Enviar essa matriz para a GPU

GPU

1. Criar uma matriz 4×4 (uniform) no vertex shader
2. Multiplicar essa matriz pelos vértices de entrada

```
GLint modelLoc = glGetUniformLocation(shaderProgram, “model");

// Terceiro triângulo no centro e acima, com rotação e escala
Matrix4 model3 = Matrix4::CreateTranslation(Vector3(0.0f, 0.25f, 0.0f));
model3 = Matrix4::CreateScale(Vector3(0.5f, 0.5f, 1.0f)) * model3;
model3 = Matrix4::CreateRotationZ(Math::ToRadians(180.0f)) * model3;

glUniformMatrix4fv(modelLoc, 1, GL_FALSE, model3.GetAsFloatPtr());
glDrawArrays(GL_TRIANGLES, 0, 3);
```

```
constexpr std::string_view vertexShaderSource = R"(
#version 330 core
layout (location = 0) in vec2 aPos;
uniform mat4 model;

void main() {
    gl_Position = model * vec4(aPos, 0.0, 1.0);
}
)";
```

Próxima aula

A28: Gráficos 3D III

- Câmeras
  - Perspectiva e Ortográfica
- Projeção para a Tela
- Texturas