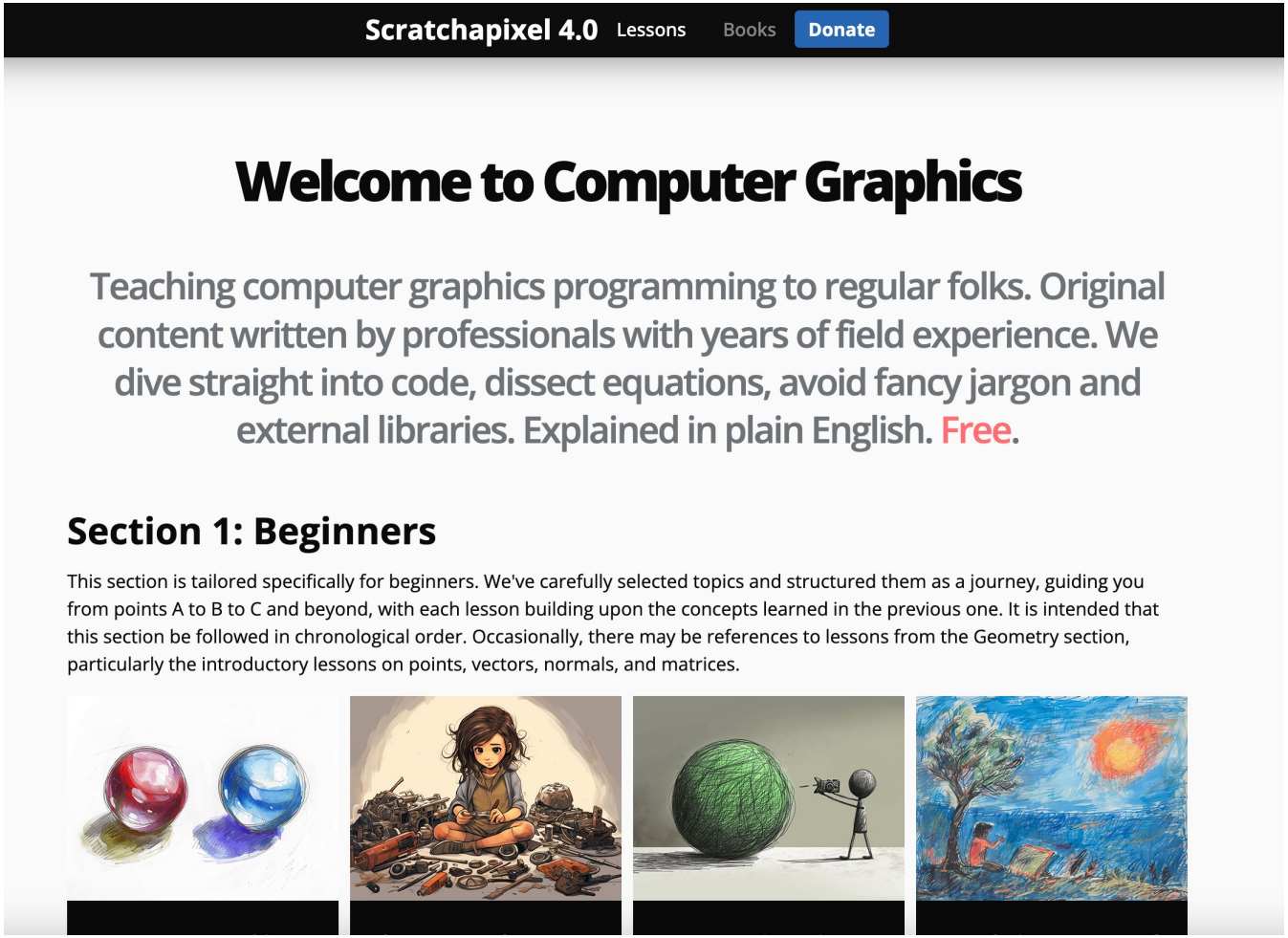
Insper

Computação Gráfica

Aula 8: Malhas e Grafo de Cena

Scratchapixel



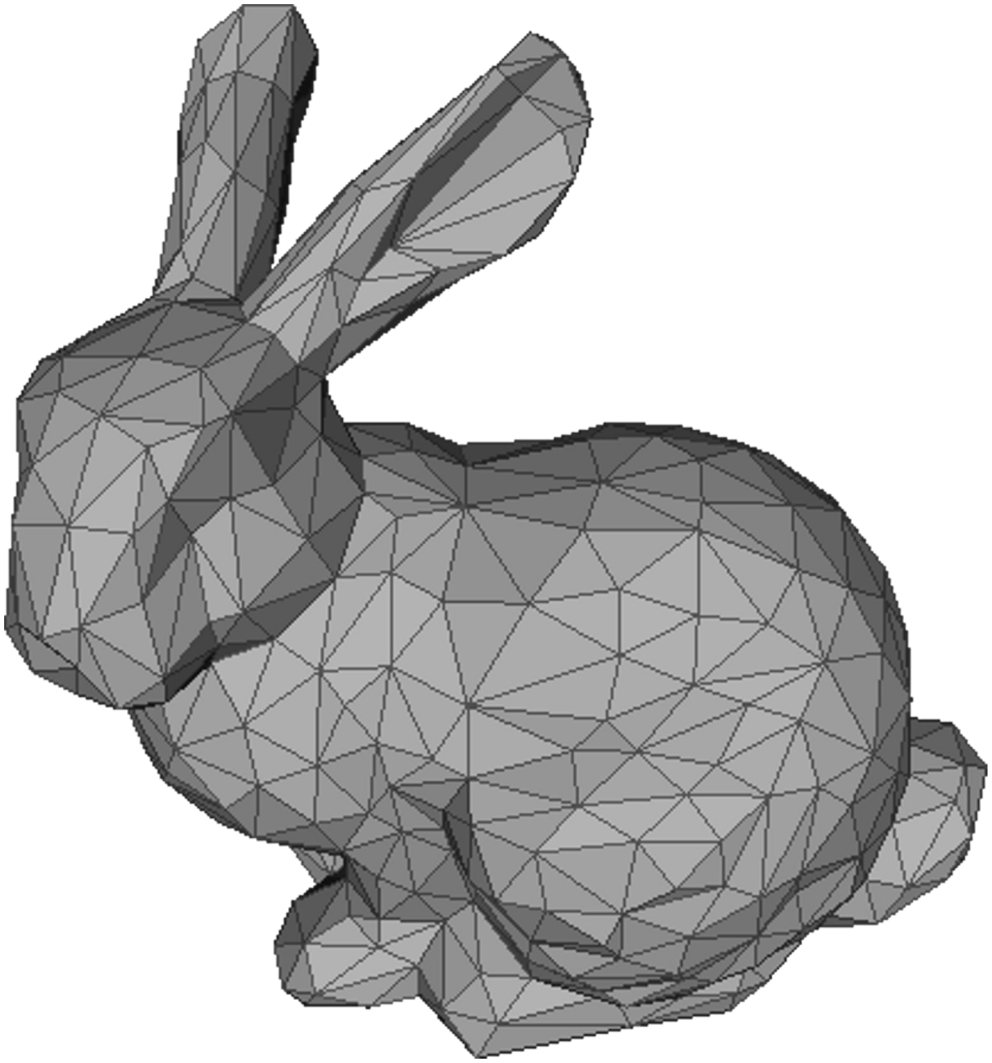
https://www.scratchapixel.com/index.html

Insper

Computação Gráfica

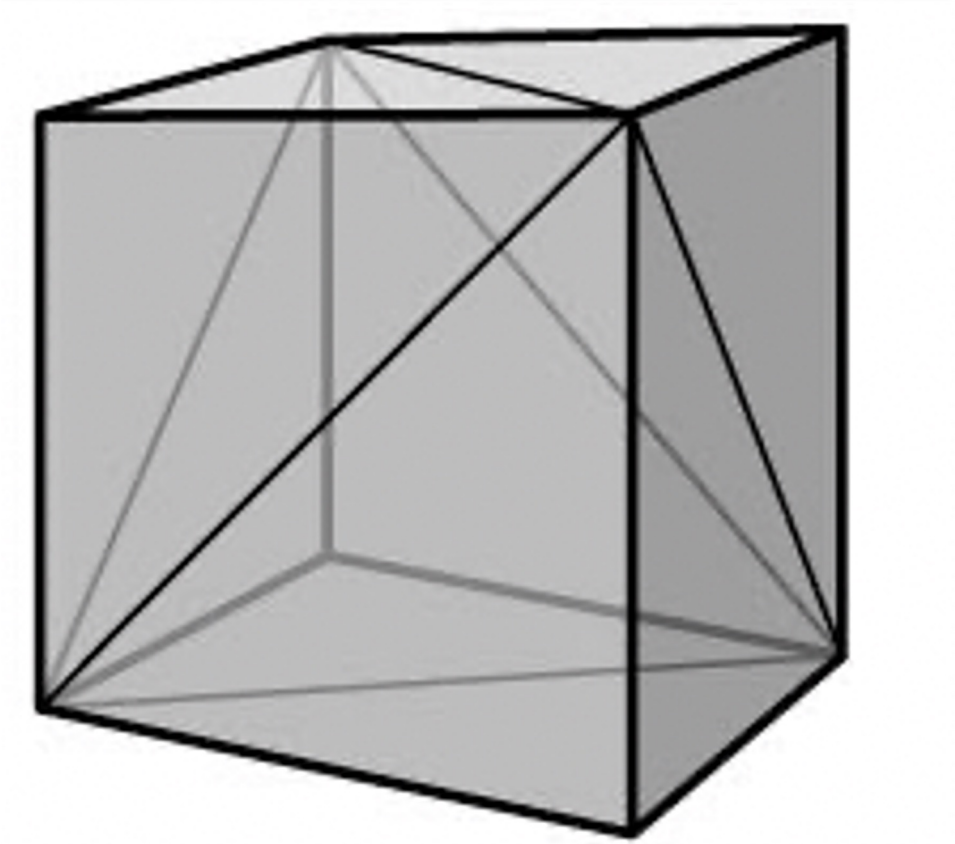
Malhas Poligonais

Malha de Triângulos



Stanford Bunny (low poly)
original: https://graphics.stanford.edu/data/3Dscanrep/

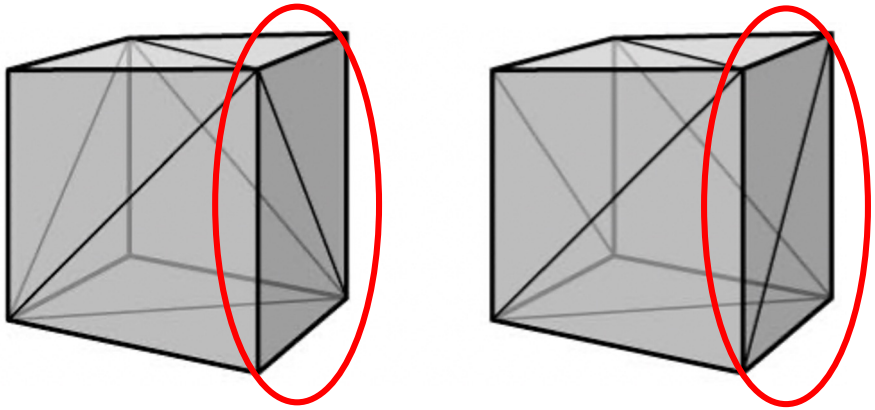
Malha de Triângulos Pequena



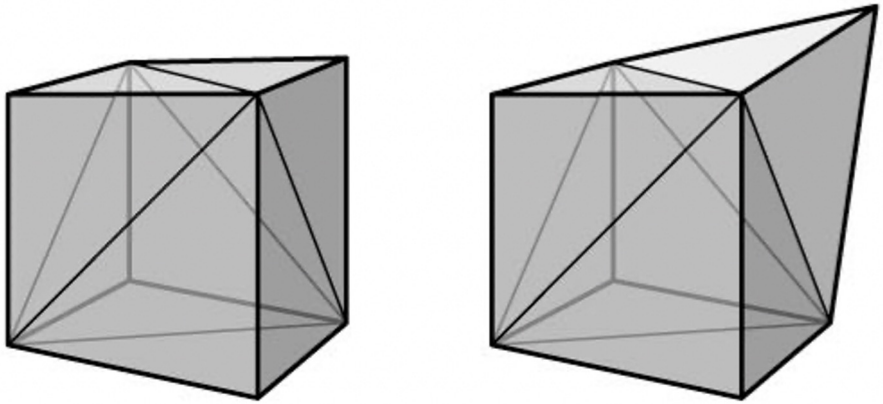
8 vértices, 12 triângulos

Topologia versus Geometria

Mesma geometria, diferente topologia da malha

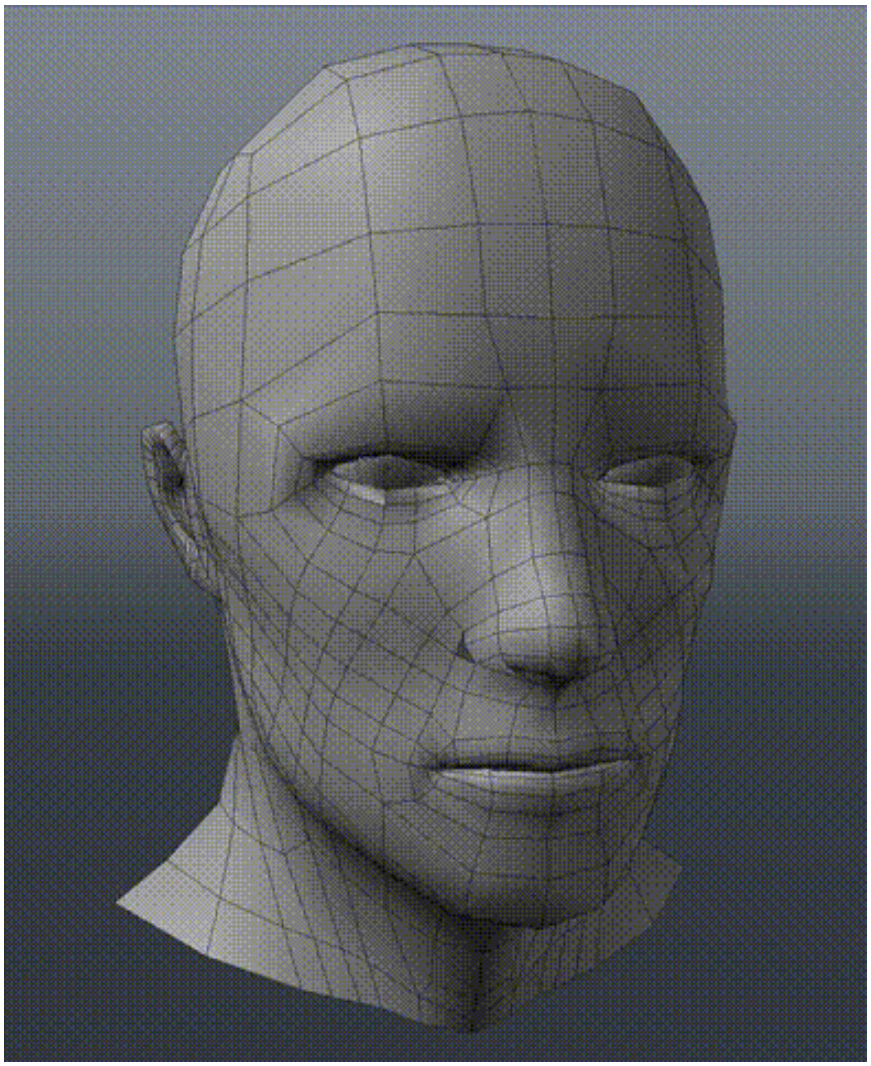


Mesma topologia, diferente geometria



Insper

Blend Shapes

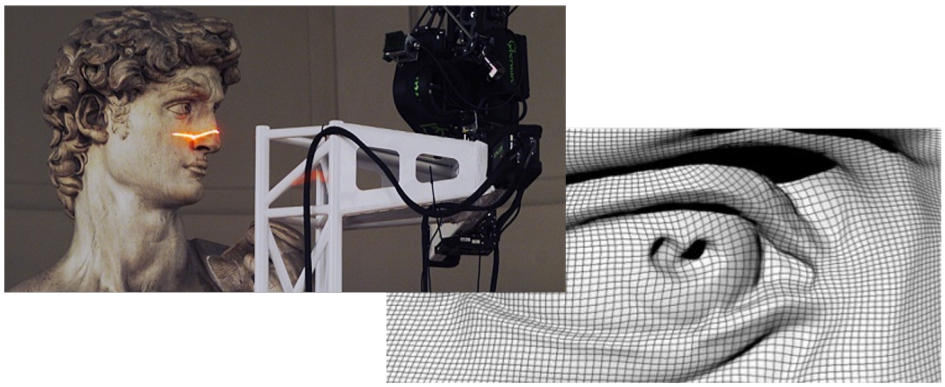


Fonte: https://blog.enabled.com.au/iphonex-face-tracking/

Malha de Triângulos Grande

Digital Michelangelo Project

The statue	
height without pedestal	517 cm
surface area	19 m^2
volume	2.2 m^3
weight	5,800 kg
Our raw dataset	
number of polygons	2 billion
number of color images	7,000
losslessly compressed size	32 GB
Other statistics	
total size of scanning team	22 people
staffing in the museum	3 people (on average)
time spent scanning	360 hours over 30 days
man-hours scanning	1,080
man-hours post-processing	1,500 (so far)



Fonte: https://graphics.stanford.edu/papers/dmich-sig00/dmich-sig00-nogamma-comp-low.pdf

Malha de Triângulos Gigantesca

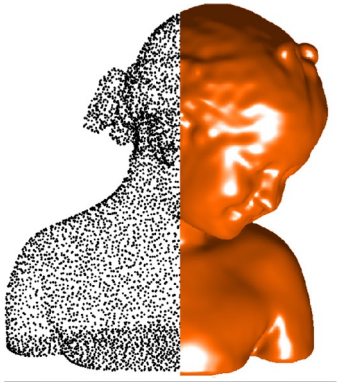
Insper

Pipeline de Processamento Geométrico

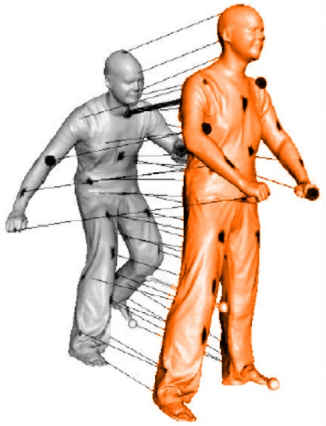
Escaneamento → Processamento → Impressão

Insper

Mais Tarefas de Processamento Geométrico

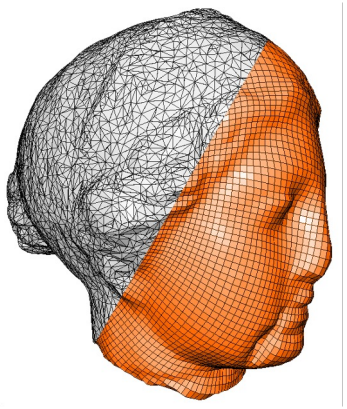


Reconstrução 3D



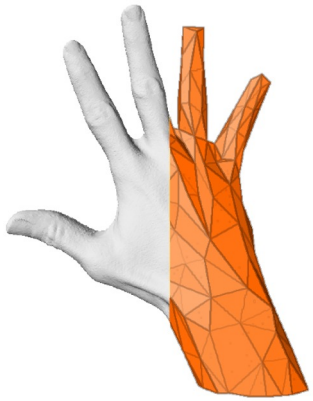
Analise de Formas

Filtragem



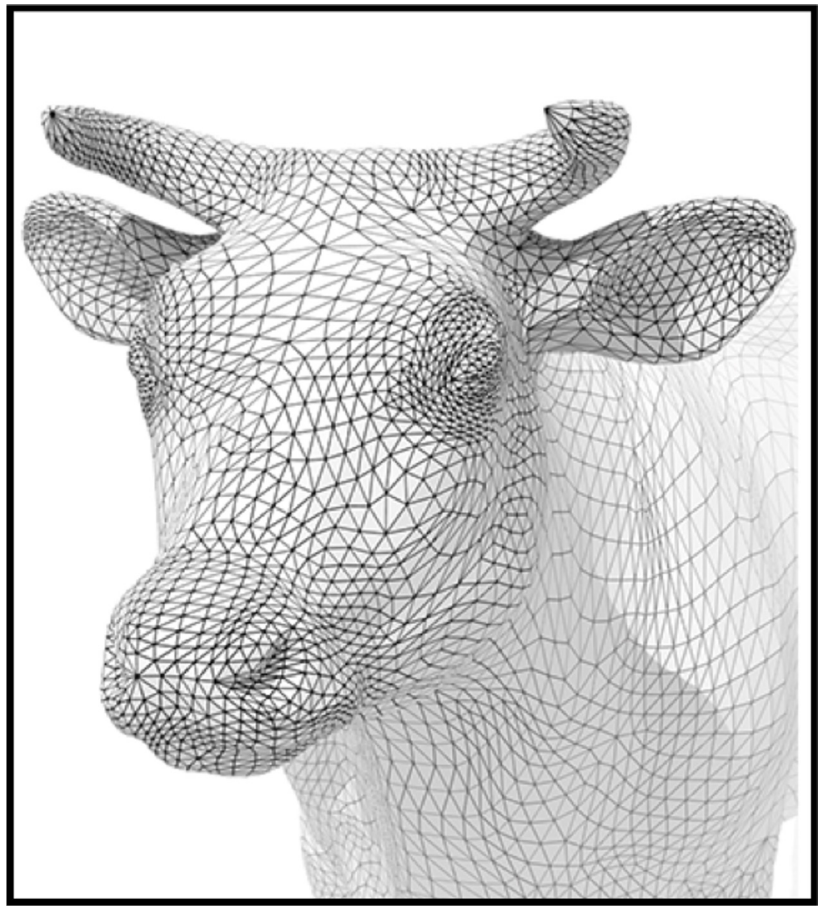
Remeshing

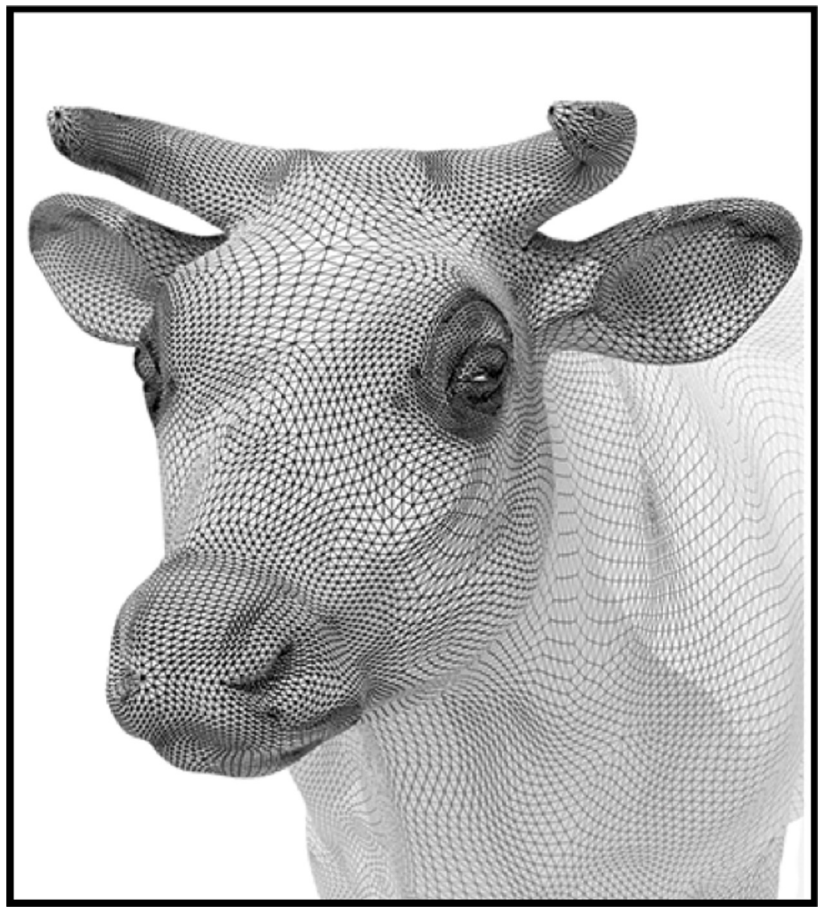
Parametrização



Compressão

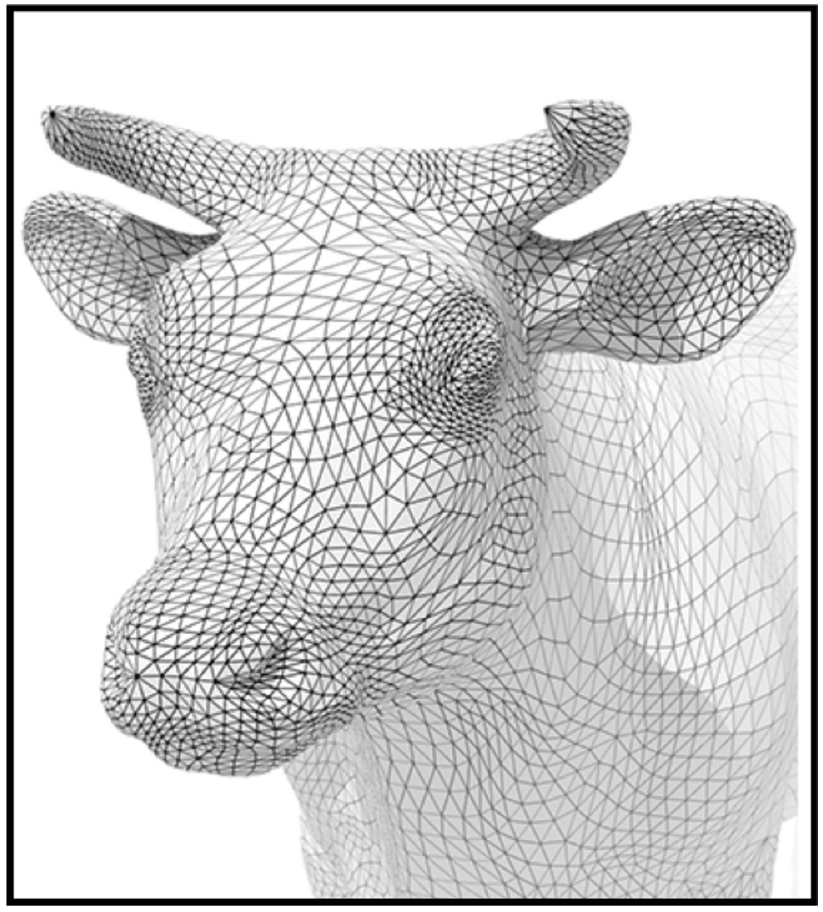
Upsampling (Refinando Malha)

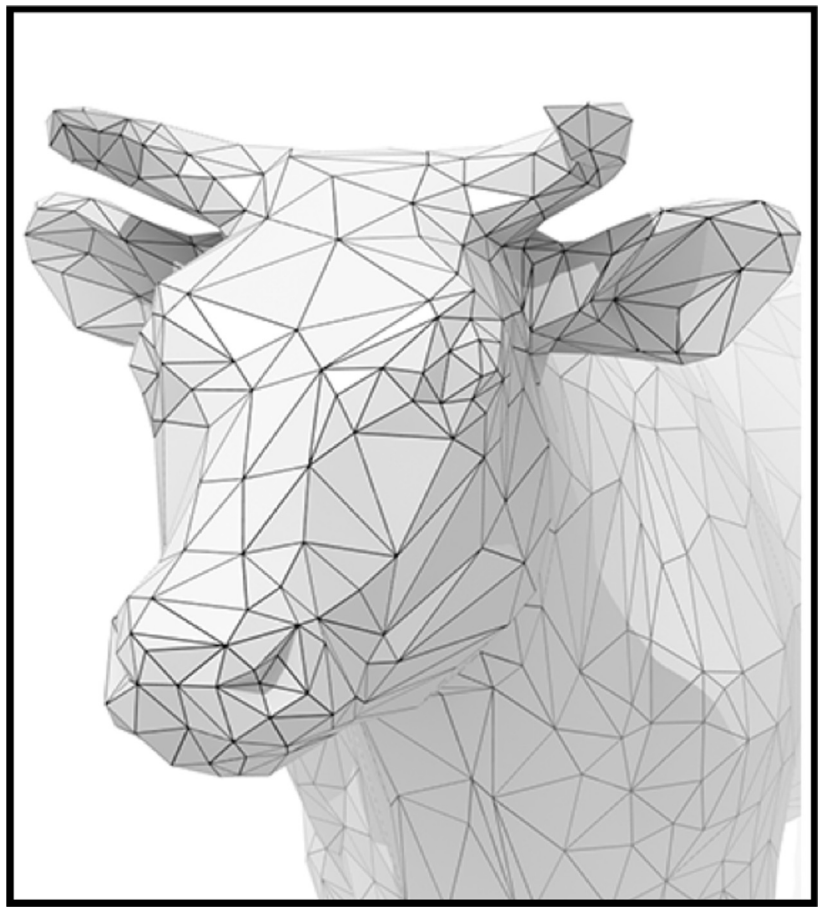




Subdivisão : melhorando resolução interpolando os pontos

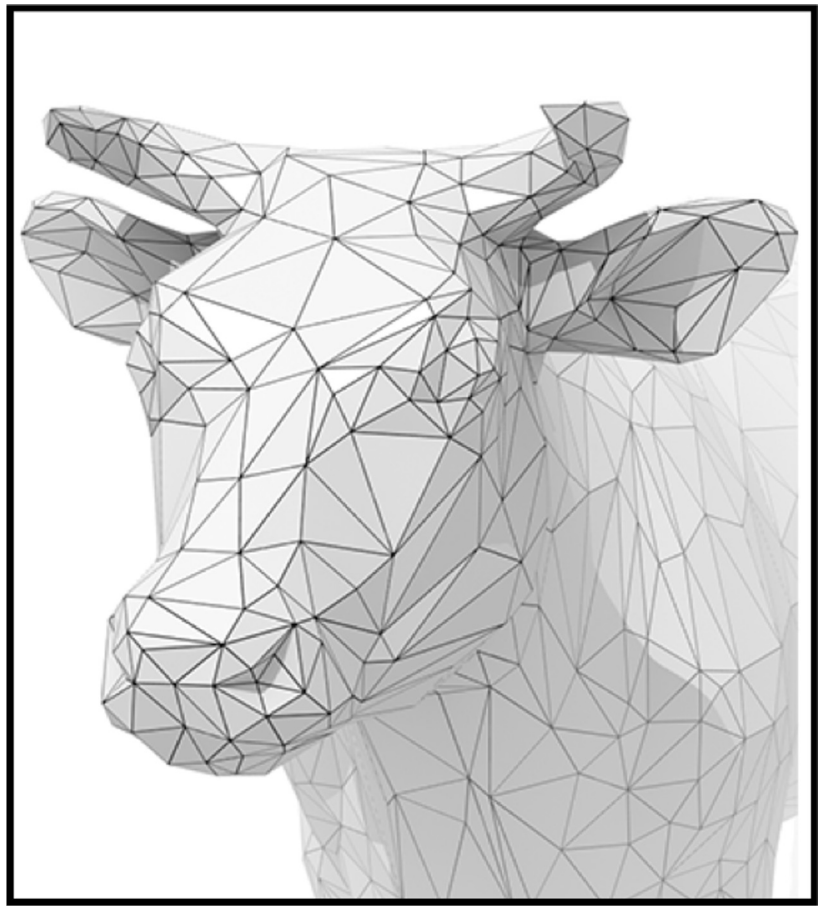
Downsampling (Simplificando a Malha)

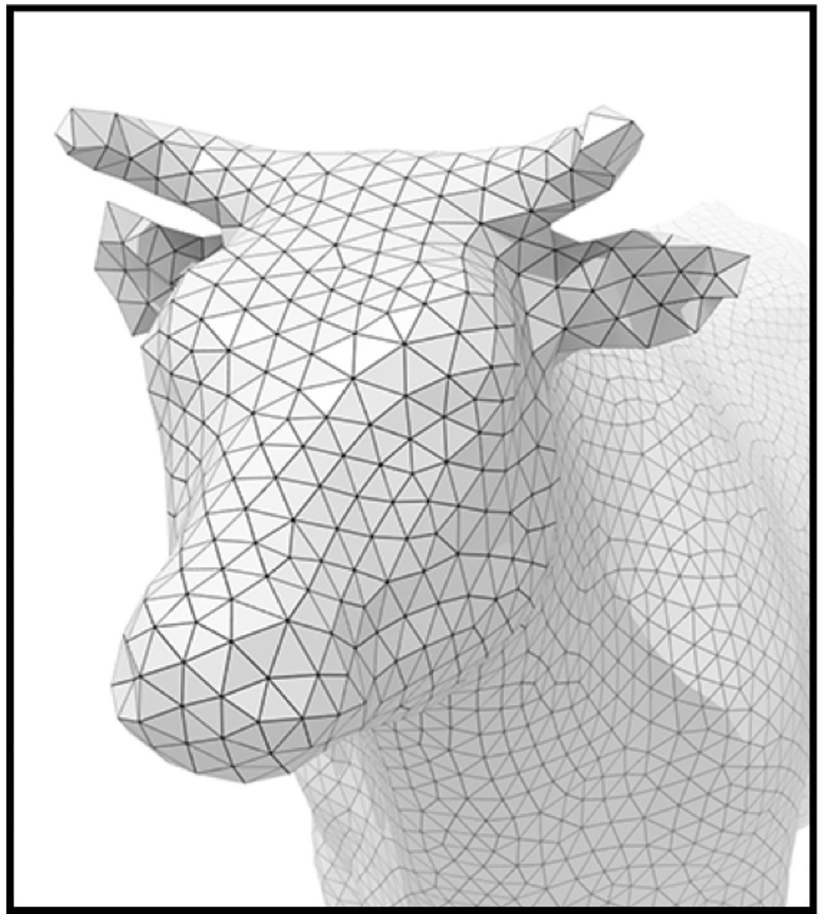




Diminuindo Pontos : tentando manter a forma original

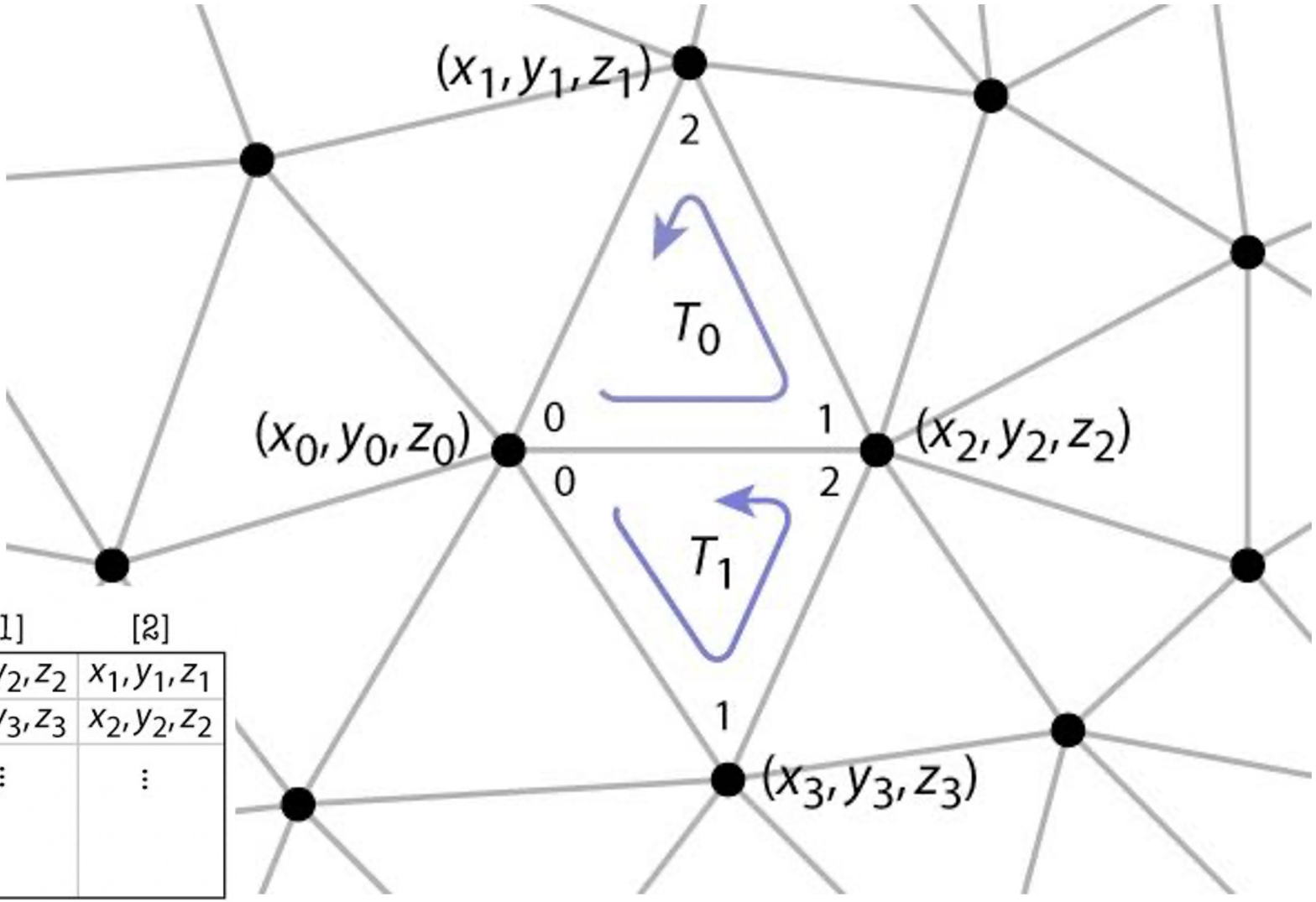
Homogeneizando Malha





Ajustando Pontos para melhorar qualidade (possivelmente)

Lista de Triângulos



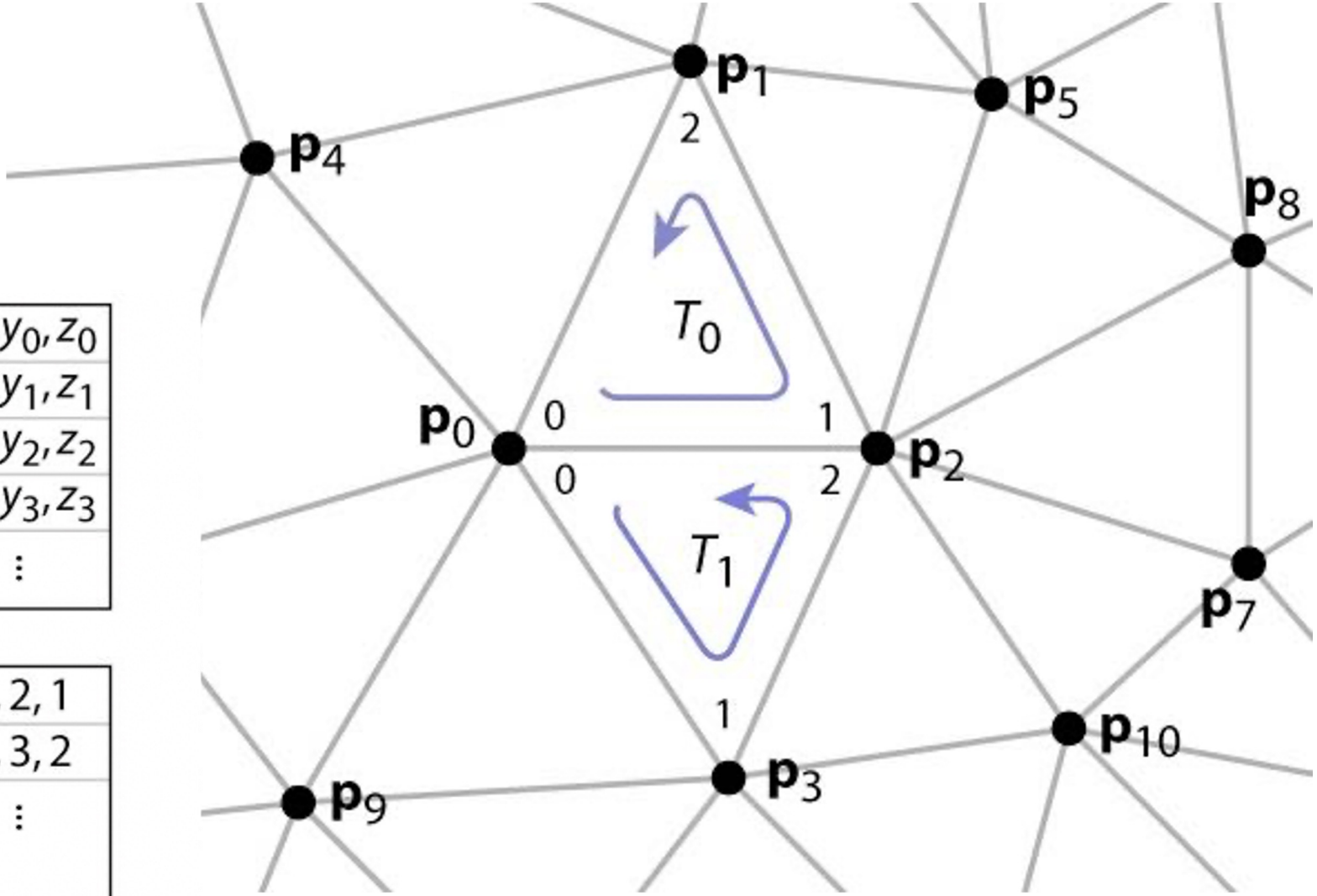
	[0]	[1]	[2]
tris[0]	x_0, y_0, z_0	x_2, y_2, z_2	x_1, y_1, z_1
tris[1]	x_0, y_0, z_0	x_3, y_3, z_3	x_2, y_2, z_2
	⋮	⋮	⋮

Insper

Lista de Pontos e sua conexão por índices

verts[0]	x_0, y_0, z_0
verts[1]	x_1, y_1, z_1
	x_2, y_2, z_2
	x_3, y_3, z_3
	⋮

tInd[0]	0, 2, 1
tInd[1]	0, 3, 2
	⋮



Insper

Comparação

Triângulos

+ Simples
- Muita Informação Redundante

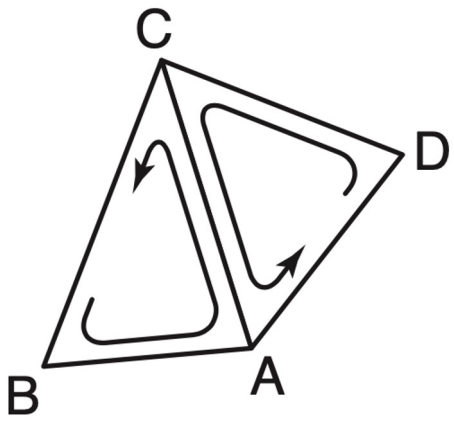
Pontos e Triângulos

+ Compartilhamento de vértices reduz consumo de memória
+ Garante integridade da malha

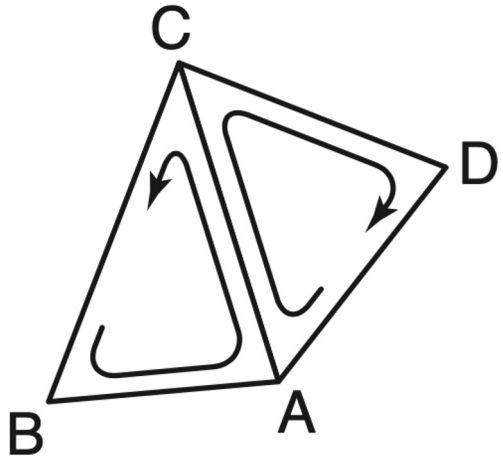
(alterar um vértice, altera para todos os polígonos)

Validade Topológica: Consistência da Orientação

Orientação consistente

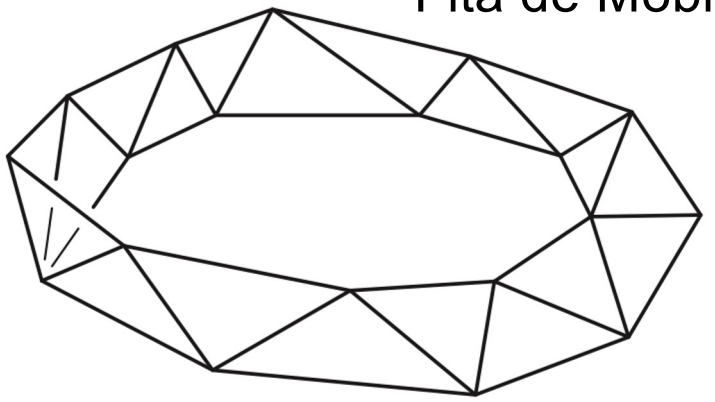


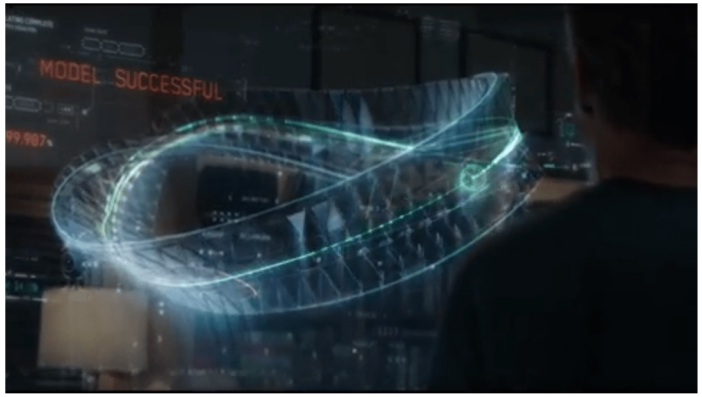
Orientação inconsistente



Não orientável

Fita de Möbius



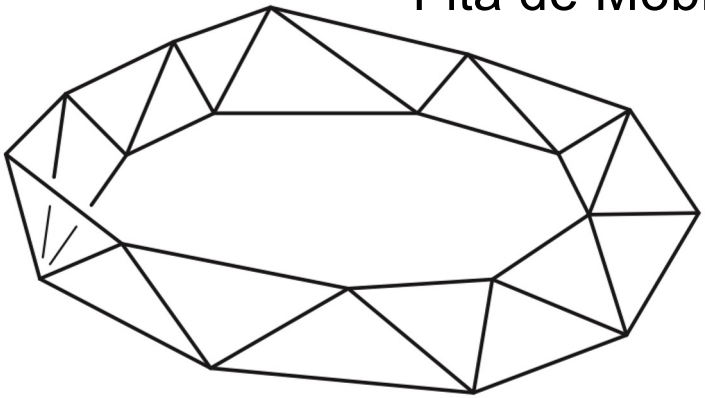


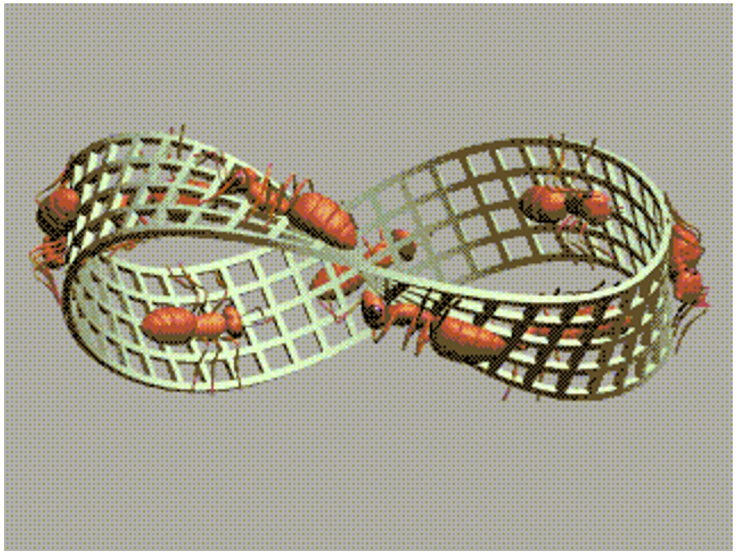
Vingadores: Ultimato

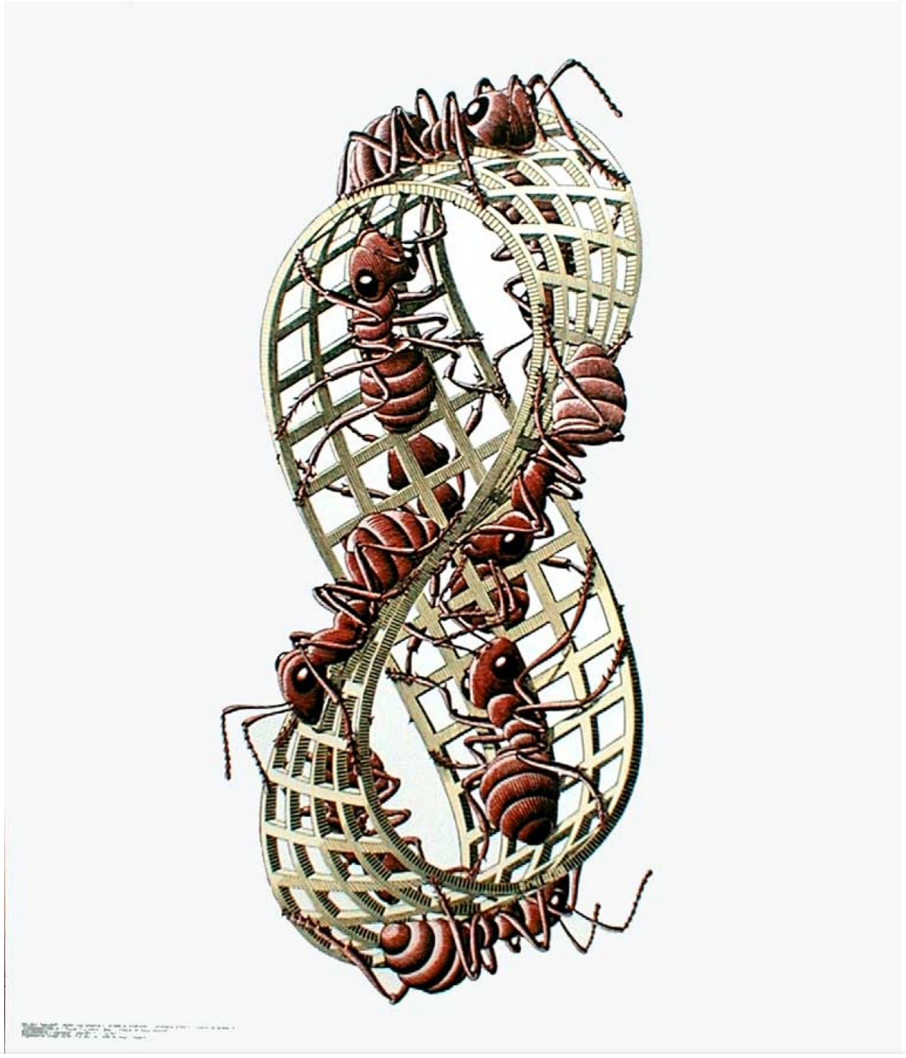
Insper

Validade Topológica: Consistência da Orientação

Fita de Möbius







M. C. Escher - Möbius Strip II (1963)

X3D

- triangleSet (já vimos)
- triangleStripSet
- indexedTriangleStripSet
- indexedFaceSet

TriangleStripSet

Um **TriangleStripSet** representa uma forma geométrica 3D composta por faixas de triângulos. O campo **stripCount** descreve quantos vértices devem ser usados em cada faixa do **Coordinate**. As coordenadas são atribuídas a cada faixa pegando os vértices **stripCount[i]** do campo de coordenadas, onde i é um índice sequencial de stripCount.

TriangleStripSet : X3DComposedGeometryNode {

MFNode	[in,out]	attrib	[]	[X3DVertexAttributeNode]
SFNode	[in,out]	color	NULL	[X3DColorNode]
SFNode	**[in,out]**	**coord**	**NULL**	**[X3DCoordinateNode]**
SFNode	[in,out]	fogCoord	NULL	[FogCoordinate]
SFNode	[in,out]	metadata	NULL	[X3DMetadataObject]
SFNode	[in,out]	normal	NULL	[X3DNormalNode]
MFInt32	**[in,out]**	**stripCount**	**[]**	**[3,∞)**
SFNode	[in,out]	texCoord	NULL	[X3DTextureCoordinateNode]
SFBool	[]	ccw	TRUE	
SFBool	[]	colorPerVertex	TRUE	
SFBool	[]	normalPerVertex	TRUE	
SFBool	[]	solid	TRUE	

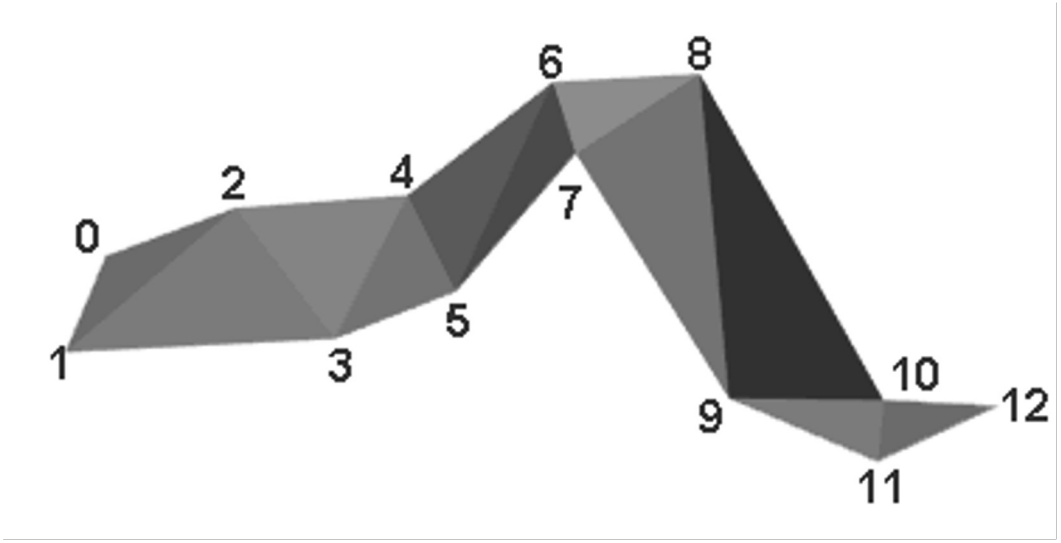
}

https://www.web3d.org/specifications/X3Dv4/ISO-IEC19775-1v4-IS/Part01/components/rendering.html#TriangleStripSet

TriangleStripSet (exemplo)

```
<Shape>
    <TriangleStripSet stripCount='13'>
        <Coordinate point='
              -4.0 -1.0 -0.5 -> P0
              -4.5 -2.0 -0.5 -> P1
              -3.0 -0.5  0.0 -> P2
              -2.5 -1.5 -0.5 -> P3
              -2.0 -0.5 -1.0 -> P4
              -1.5 -1.5 -0.5 -> P5
              -0.5  0.5 -0.5 -> P6
               0.0  0.0  0.0 -> P7
               1.0  0.5 -0.5 -> P8
               1.5 -2.0 -1.0 -> P9
               2.5 -2.0 -0.5 -> P10
               2.5 -2.5 -0.5 -> P11
               3.5 -2.0 -1.0 -> P12
         '/>
    </TriangleStripSet>
    <Appearance> <Material emissiveColor='0.5 0.5 0.5'/> </Appearance>
</Shape>
```

Os vértices são conectados de 3 em 3. Assim o primeiro triângulos será ligando os vértices (0, 1, 2), o segundo (1, 2, 3) e assim por diante, até chegar a contagem definida em stripCount. Perceba que stripCount é uma lista.



https://www.web3d.org/specifications/X3Dv4/ISO-IEC19775-1v4-IS/Part01/components/rendering.html#TriangleStripSet

IndexedTriangleStripSet

Um **IndexedTriangleStripSet** representa uma forma 3D composta de um conjunto de triângulos em forma de uma tira, são usados nos índices do campo **index** para especificar como montar faixa de triângulos. Um índice de "−1" indica que a faixa atual terminou e a próxima começa.

IndexedTriangleStripSet : X3DComposedGeometryNode {

MFInt32	[in]	set_index	[]	[0,∞) or −1
MFNode	[in,out]	attrib	[]	[X3DVertexAttributeNode]
SFNode	[in,out]	color	NULL	[X3DColorNode]
SFNode	**[in,out]**	**coord**	**NULL**	**[X3DCoordinateNode]**
SFNode	[in,out]	fogCoord	NULL	[FogCoordinate]
SFNode	[in,out]	metadata	NULL	[X3DMetadataObject]
SFNode	[in,out]	normal	NULL	[X3DNormalNode]
SFNode	[in,out]	texCoord	NULL	[X3DTextureCoordinateNode]
SFBool	[]	ccw	TRUE	
SFBool	[]	colorPerVertex	TRUE	
SFBool	[]	normalPerVertex	TRUE	
SFBool	[]	solid	TRUE	
MFInt32	**[]**	**index**	**[]**	**[0,∞) or −1**

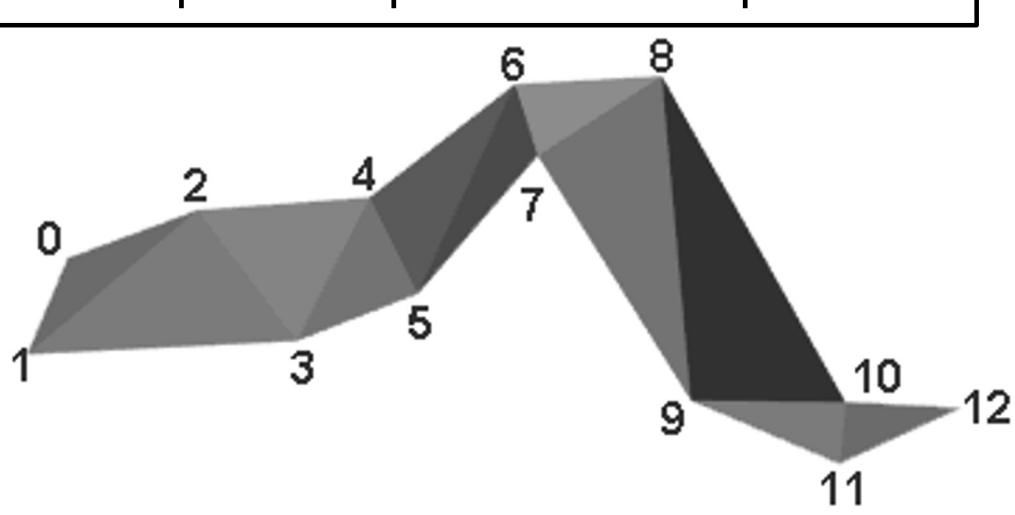
}

 https://www.web3d.org/specifications/X3Dv4/ISO-IEC19775-1v4-IS/Part01/components/rendering.html#IndexedTriangleStripSet

IndexedTriangleStripSet (exemplo)

```
<Shape>
    <IndexedTriangleStripSet index='0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 -1'>
        <Coordinate point='
              -4.0 -1.0 -0.5 -> P0
              -4.5 -2.0 -0.5 -> P1
              -3.0 -0.5  0.0 -> P2
              -2.5 -1.5 -0.5 -> P3
              -2.0 -0.5 -1.0 -> P4
              -1.5 -1.5 -0.5 -> P5
              -0.5  0.5 -0.5 -> P6
               0.0  0.0  0.0 -> P7
               1.0  0.5 -0.5 -> P8
               1.5 -2.0 -1.0 -> P9
               2.5 -2.0 -0.5 -> P10
               2.5 -2.5 -0.5 -> P11
               3.5 -2.0 -1.0 -> P12
         '/>
    </IndexedTriangleStripSet>
    <Appearance> <Material emissiveColor='0.5 0.5 0.5'/> </Appearance>
</Shape>
```

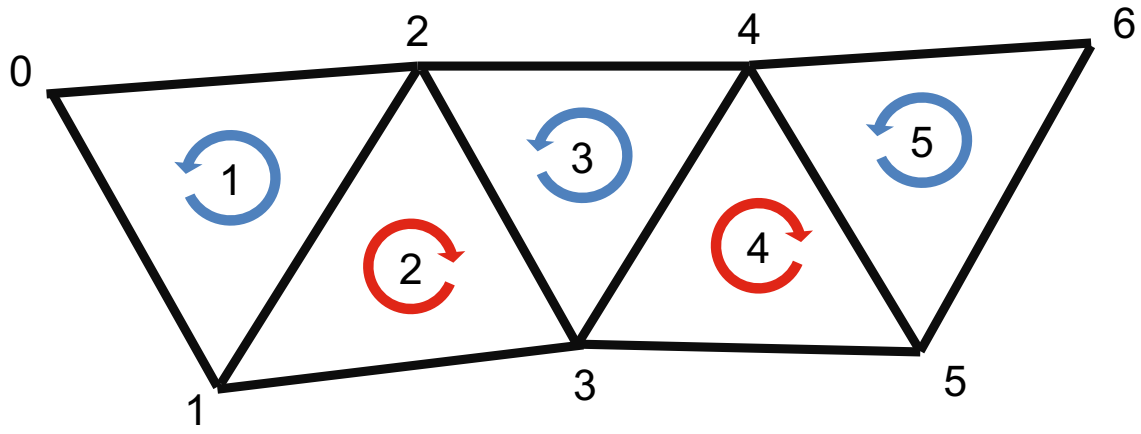
Os vértices são conectados seguindo a ordem definida no campo index. Ligando de 3 em 3 vértices até encontrar um valor -1. Outras listas de índices podem aparecer na sequencia.



 https://www.web3d.org/specifications/X3Dv4/ISO-IEC19775-1v4-IS/Part01/components/rendering.html#IndexedTriangleStripSet

Cuidado

A direção de montagem dos triângulos precisa ser constantemente alternada, senão a detecção de triângulos irá falhar



Um dos truques é inverter a ordem de conexão, de modo que, nos triângulos pares, a conexão de dois vértices seja invertida.

Por exemplo: conecte (0,1,2), depois (1,3,2), depois (2,3,4) e assim por diante.

IndexedFaceSet

Um **IndexedFaceSet** representa uma forma 3D composta de um conjunto de polígonos, são usados nos índices do campo **coordIndex** para especificar como montar os triângulos, o campo **colordIndex** para especificar como mapear as cores por vértices, e o campo **texCoordIndex** para mapear as coordenadas de textura.

```
IndexedFaceSet : X3DComposedGeometryNode {
  MFInt32 [in]     set_colorIndex
  MFInt32 [in]     set_coordIndex
  MFInt32 [in]     set_normalIndex
  MFInt32 [in]     set_texCoordIndex
  MFNode  [in,out] attrib          []   [X3DVertexAttributeNode]
  SFNode  [in,out] color           NULL [X3DColorNode]
  SFNode  [in,out] coord           NULL [X3DCoordinateNode]
  SFNode  [in,out] fogCoord        NULL [FogCoordinate]
  SFNode  [in,out] metadata        NULL [X3DMetadataObject]
  SFNode  [in,out] normal          NULL [X3DNormalNode]
  SFNode  [in,out] texCoord        NULL [X3DTextureCoordinateNode]
  SFBool  []       ccw             TRUE
  MFInt32 []       colorIndex      []   [0,∞) or -1
  SFBool  []       colorPerVertex  TRUE
  SFBool  []       convex          TRUE
  MFInt32 []       coordIndex      []   [0,∞) or -1
  SFFloat []       creaseAngle     0    [0,∞)
  MFInt32 []       normalIndex     []   [0,∞) or -1
  SFBool  []       normalPerVertex TRUE
  SFBool  []       solid           TRUE
  MFInt32 []       texCoordIndex   []   [-1,∞)
}
```

https://www.web3d.org/specifications/X3Dv4/ISO-IEC19775-1v4-IS/Part01/components/geometry3D.html#IndexedFaceSet

IndexedFaceSet

O nó IndexedFaceSet representa uma forma 3D composta por faces (polígonos) construídas a partir de vértices listados no campo coord.

O IndexedFaceSet utiliza os índices em seu campo coordIndex para especificar as faces poligonais, indexando nas coordenadas do nó Coordinate. Um índice de -1 indica que a face atual foi finalizada e que a próxima começa.

Cada face do IndexedFaceSet deve ter:

- pelo menos três vértices não coincidentes;

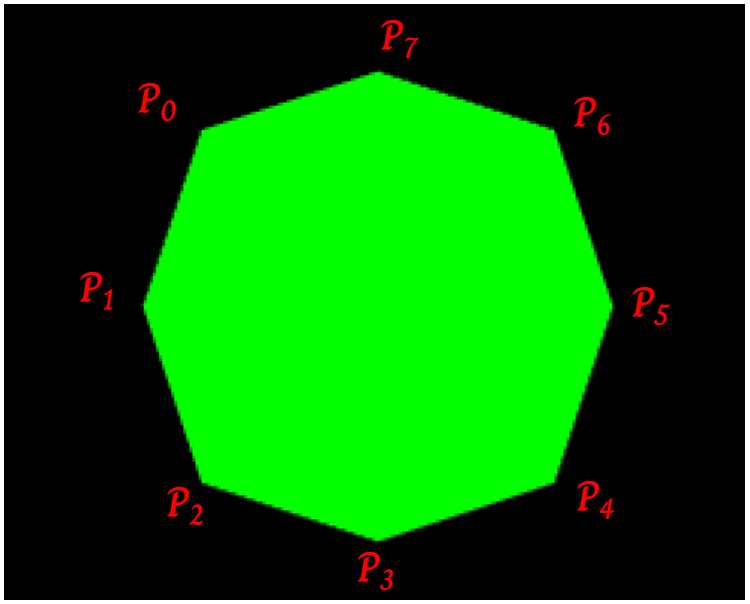
- vértices que definem um polígono coplanar;

- vértices não possuem auto-intersecção.

https://www.web3d.org/specifications/X3Dv4/ISO-IEC19775-1v4-IS/Part01/components/geometry3D.html#IndexedFaceSet

Exemplo IndexedFaceSet

```
<Shape>
    <IndexedFaceSet coordIndex='0 1 2 3 4 5 6 7 -1'>
        <Coordinate point='
                -3  3 0 -> P0
                -4  0 0 -> P1
                -3 -3 0 -> P2
                 0 -4 0 -> P3
                 3 -3 0 -> P4
                 4  0 0 -> P5
                 3  3 0 -> P6
                 0  4 0 -> P7
         '/>
    </IndexedFaceSet>
    <Appearance> <Material emissiveColor='0 1 0'/> </Appearance>
</Shape>
```

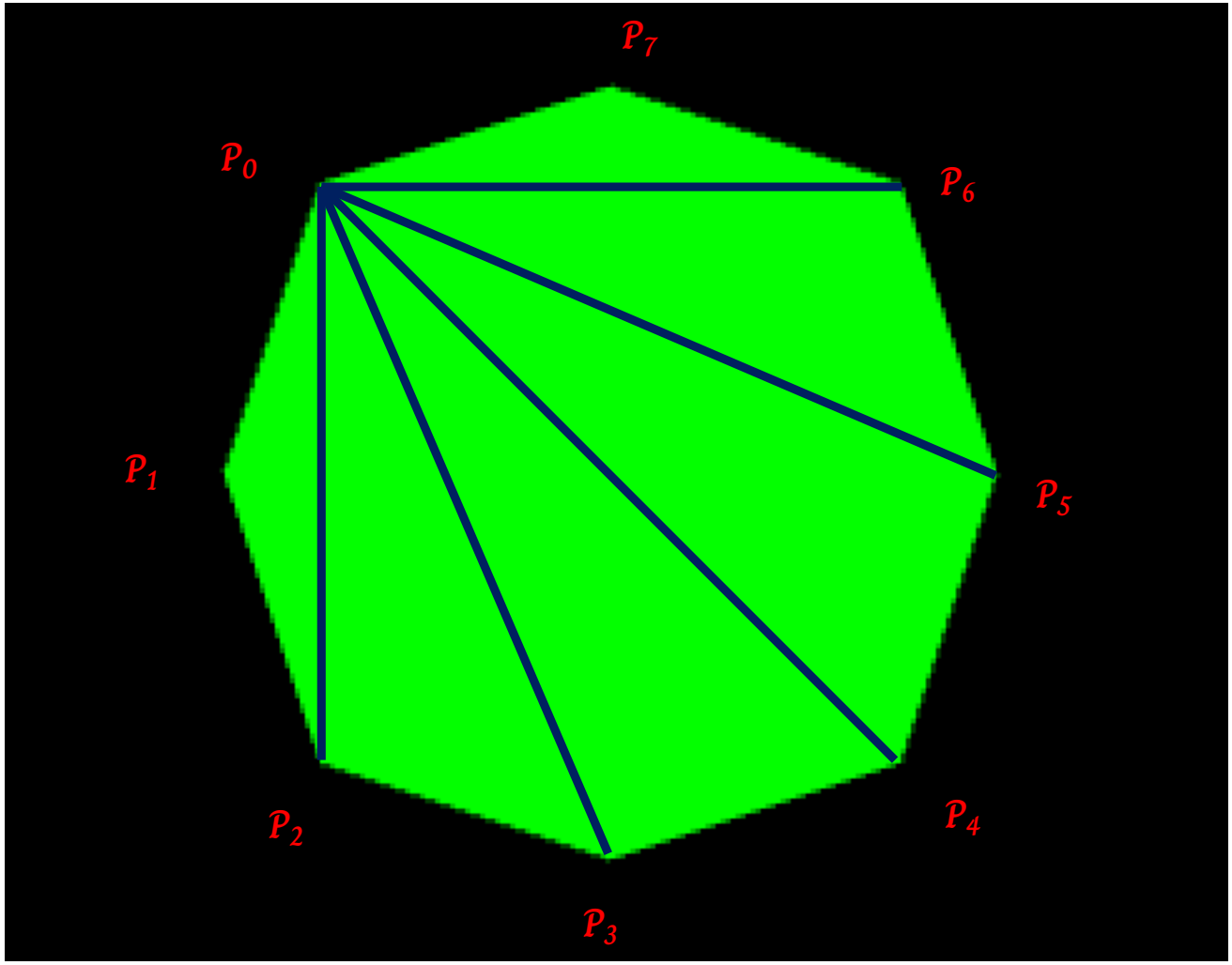


Os pontos são o contorno da superfície.

Insper

Exemplo IndexedFaceSet

Possível solução para tecer geometria

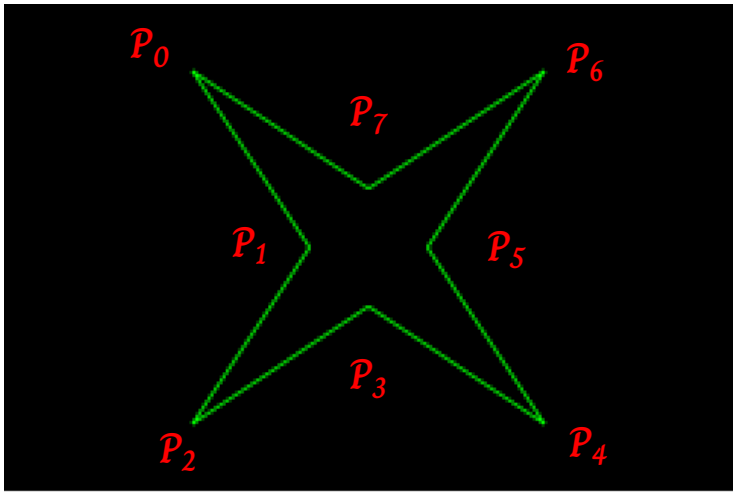


Insper

Exemplo IndexedFaceSet

Mas e se a geometria fosse assim:

```
<Shape>
    <IndexedFaceSet coordIndex='0 1 2 3 4 5 6 7 -1'>
        <Coordinate point='
                -3  3 0 -> P0
                -1  0 0 -> P1
                -3 -3 0 -> P2
                 0 -1 0 -> P3
                 3 -3 0 -> P4
                 1  0 0 -> P5
                 3  3 0 -> P6
                 0  1 0 -> P7
         '/>
    </IndexedFaceSet>
    <Appearance> <Material emissiveColor='0 1 0'/> </Appearance>
</Shape>
```



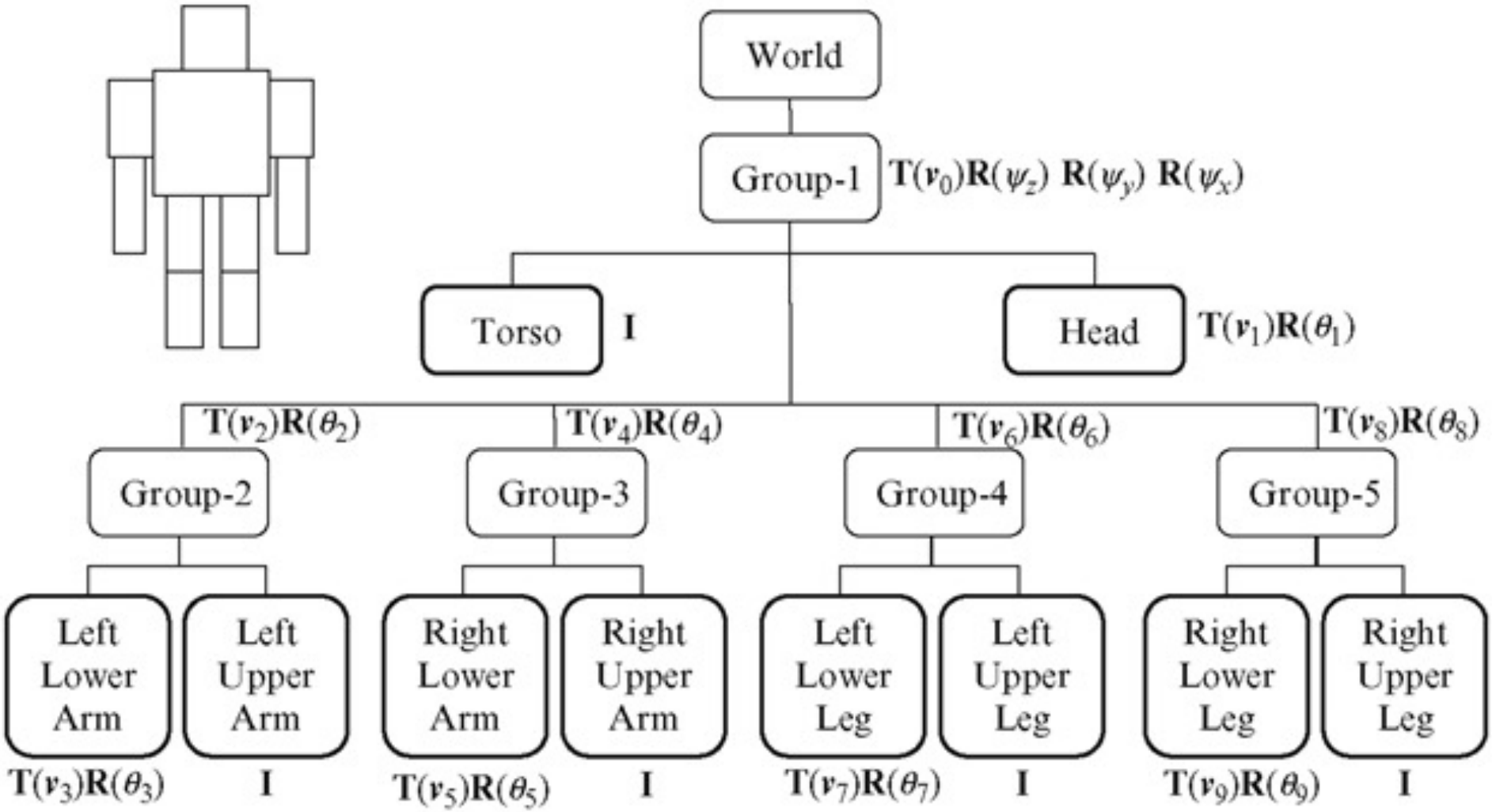
Dessa forma também não funcionaria pela especificação X3D e geraria uma geometria errada. Para funcionar você deveria especifica **convex="false"**, porém não vamos trabalhar com essa situação.

https://www.web3d.org/specifications/X3Dv4/ISO-IEC19775-1v4-IS/Part01/components/geometry3D.html#IndexedFaceSet

Computação Gráfica

Grafo de Cena

Grafo de Cena (Scene Graph)



http://what-when-how.com/advanced-methods-in-computer-graphics/scene-graphs-advanced-methods-in-computer-graphics-part-1/

Insper

Grafo de Cena (parece, mas não é uma árvore)

- Um Grafo Acíclico Dirigido "directed acyclic graph (DAG)"

Repetição:

- Uma cena pode conter várias cópias (instâncias) de um mesmo objeto
- O modelo (Objeto 3D) pode usar várias cópias de uma parte de outro modelo

Resultados

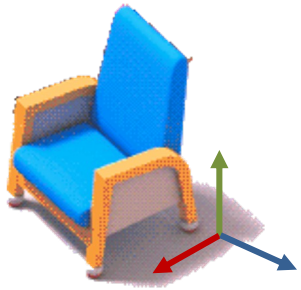
- Um nó (instâncias) pode possuir vários pais
- Ao se alterar uma cópia, essa se propaga para todas instâncias
- No *traversal* o mesmo objeto será desenhado várias vezes nas diferentes coordenadas

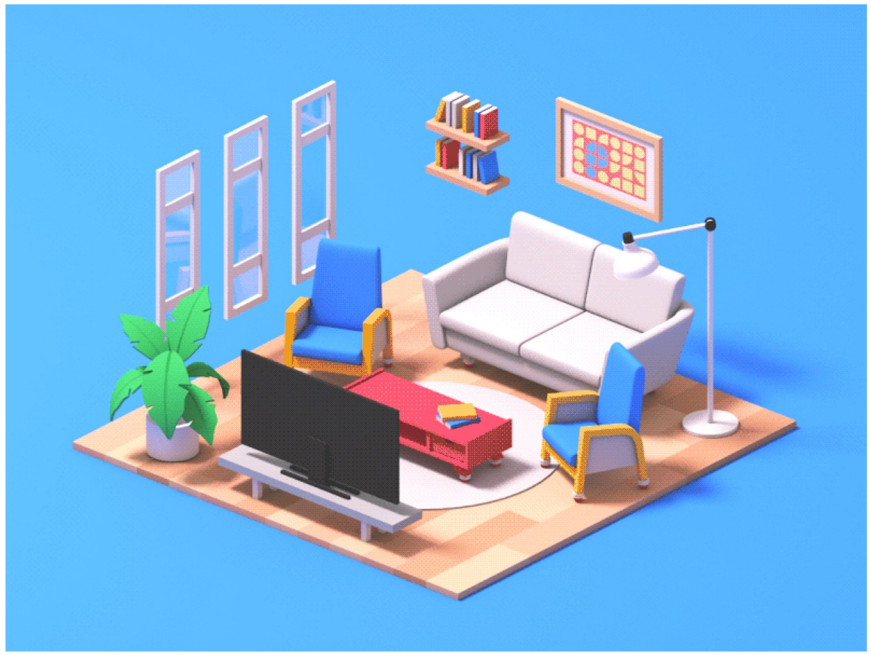
Economiza memória e tempo

Grafo de Cena

Vantagens:

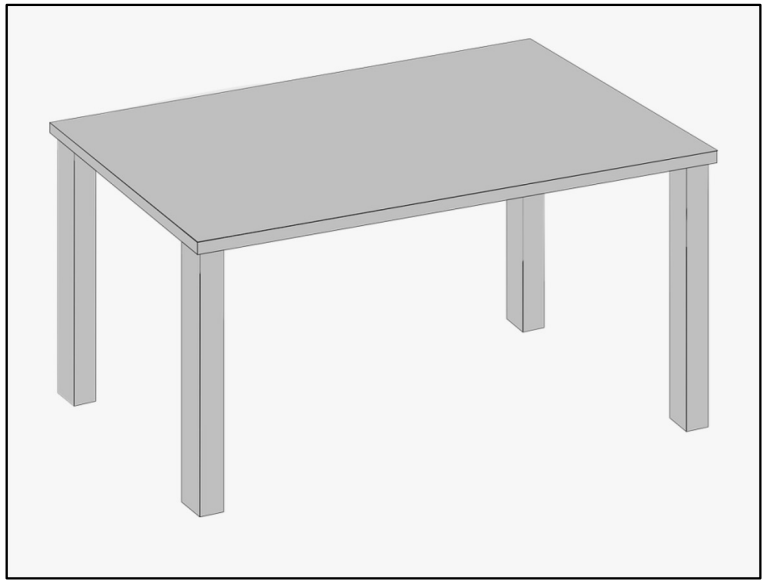
- Permite definições de objetos nos seus sistemas de coordenadas
- Permite o uso de objetos várias vezes numa mesma cena
- Permite processamento pela hierarquia
- Permite animações de articulações de forma simples

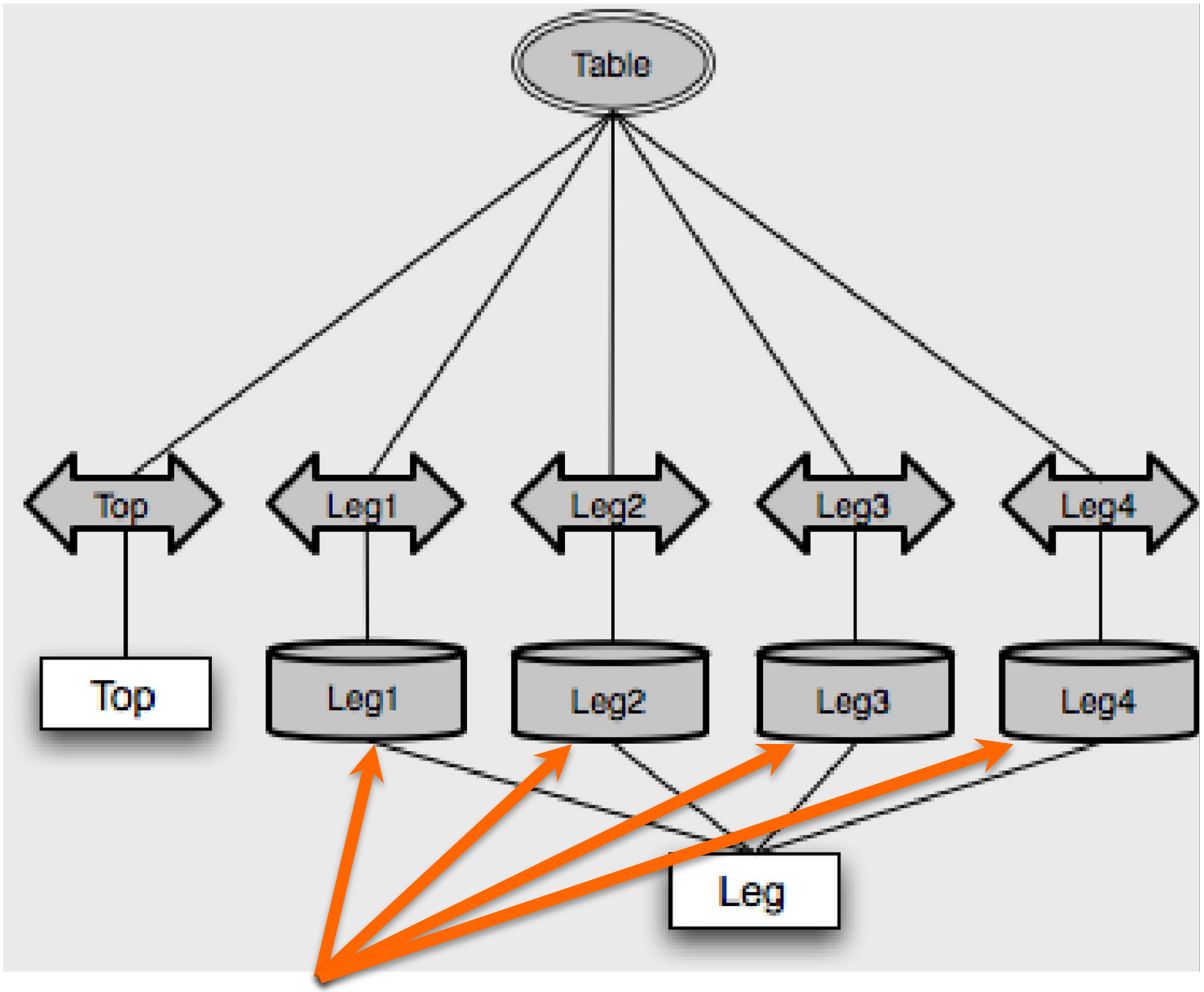




por: Guillaume Kurkdjian

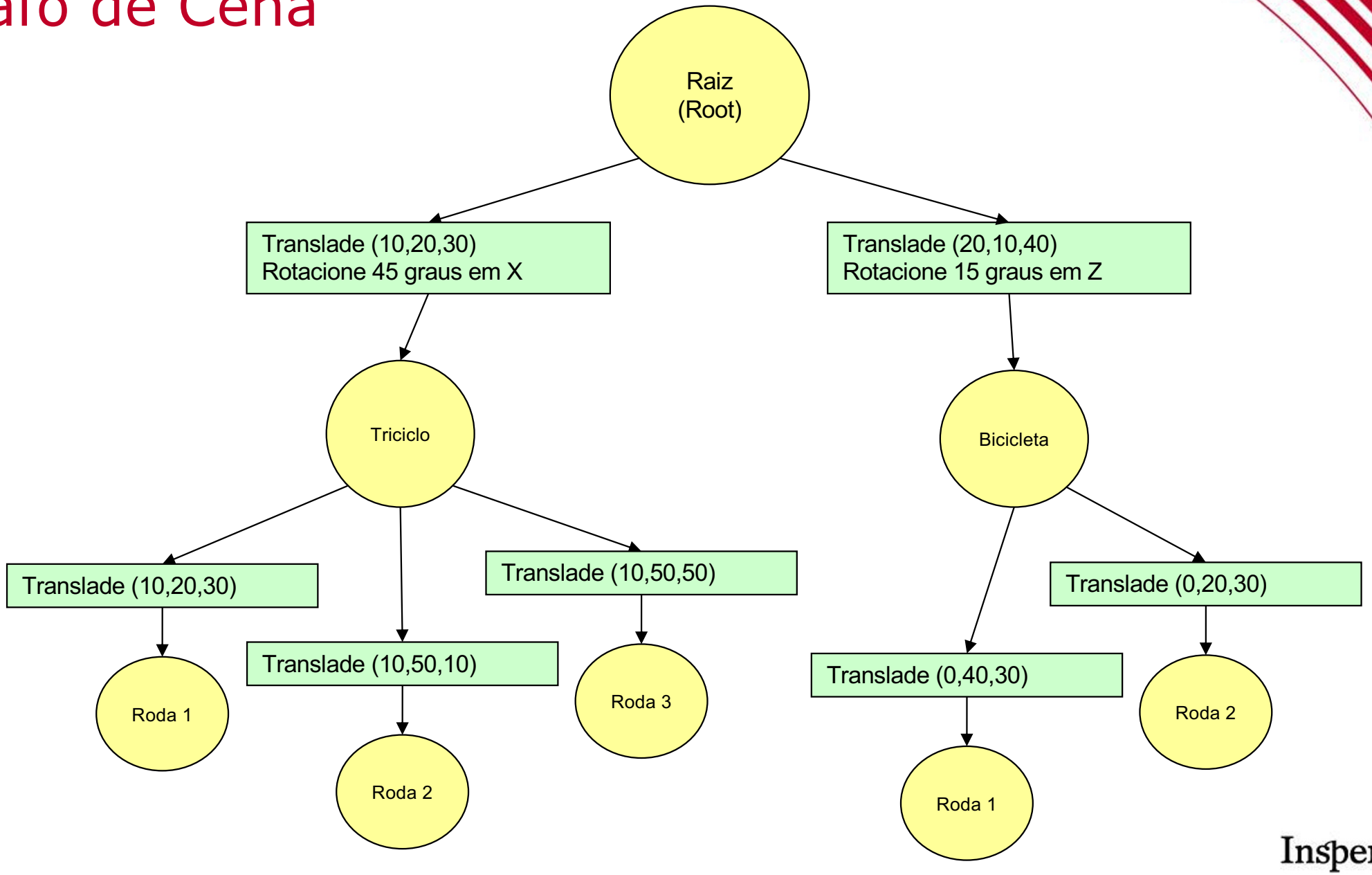
Instanciação – partes do modelo





Insper

Grafo de Cena



Insper

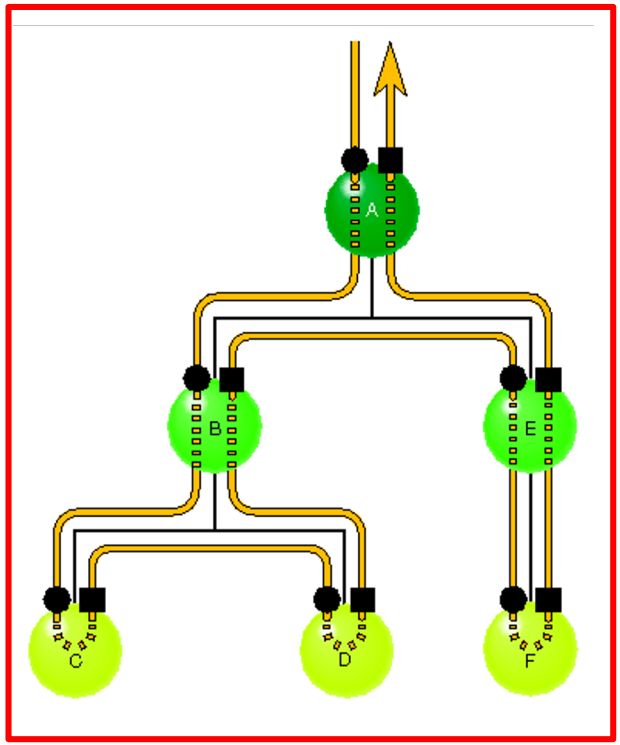
Para que server esta organização?

Os nós podem possuir filhos sendo que as transformações nos pais são repassadas para os filho.

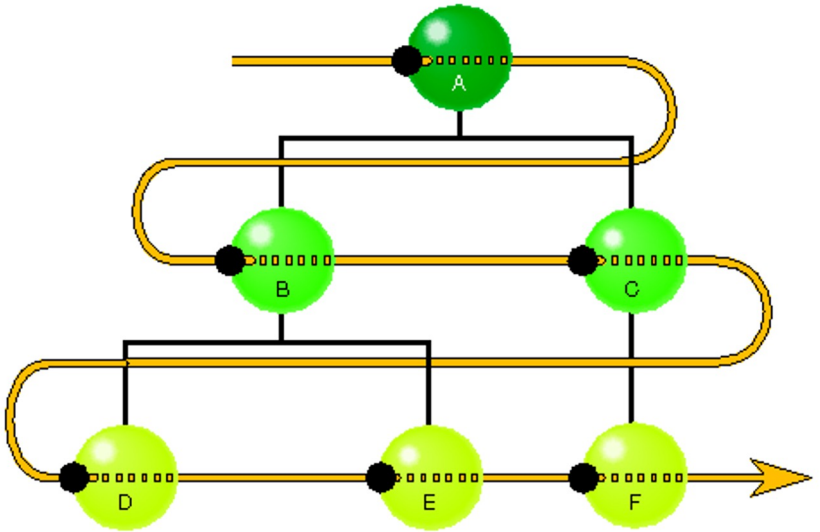
Traversal

O *traversal* vai aplicando operações nos nós do grafo conforme visita recursivamente cada um deles.

Dados podem ser empilhados para algum uso no retorno a um nó.



A > B > C > D > B > E > F > E > A

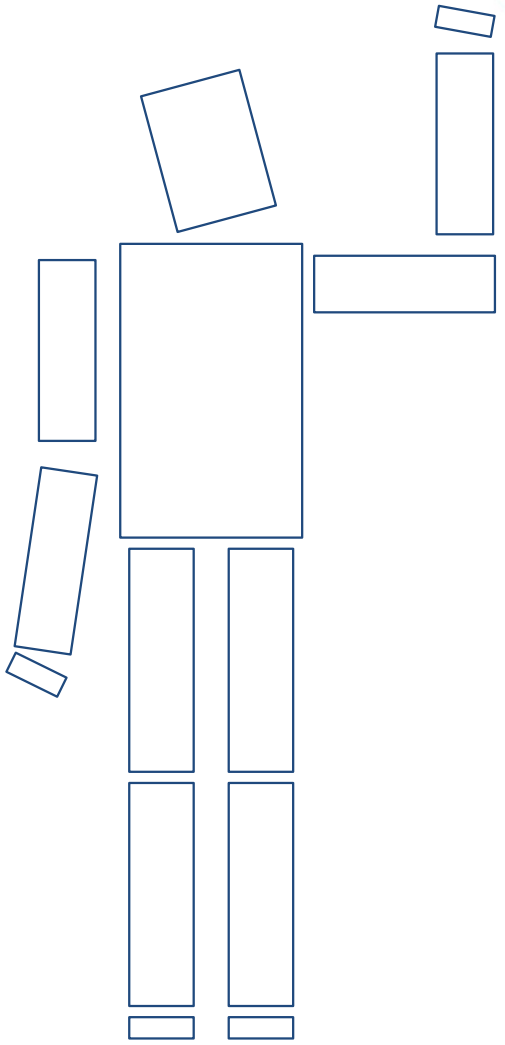


A > B > C > D > E > F

Insper

Esqueleto – Representação Hierárquica

- **tronco**
  - **cabeça**
  - **braço direito**
    - **antebraço direito**
      - **mão direita**
  - **braço esquerdo**
    - **antebraço esquerdo**
      - **mão esquerda**
  - **perna direita**
    - **canela direita**
      - **pé direito**
  - **perna esquerda**
    - **canela esquerda**
      - **pé esquerdo**

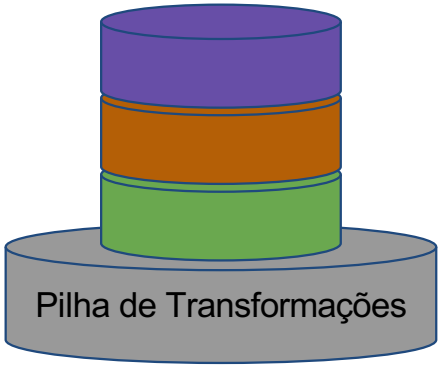


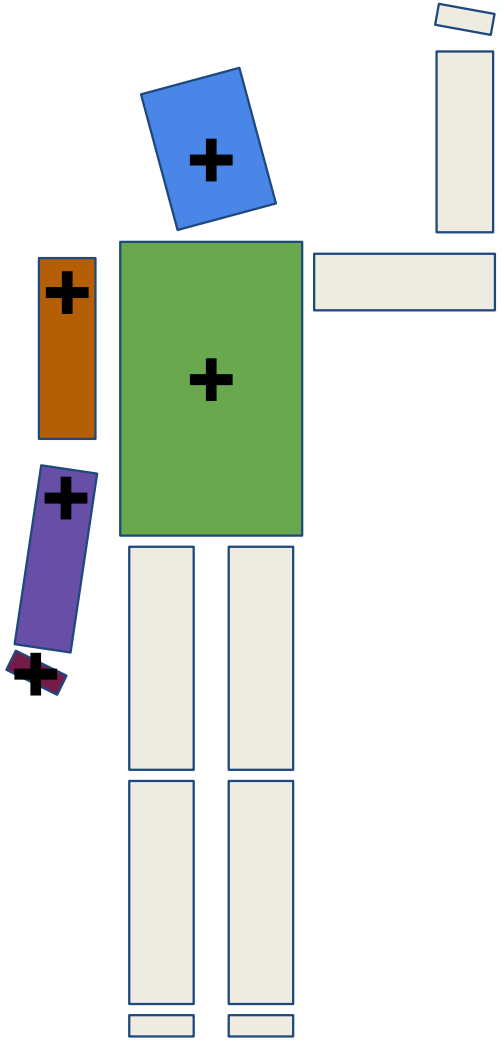
Representação Hierárquica

- Cada grupo contém subgrupos e/ou objetos geométricos
- Cada grupo possui uma transformação associada ao grupo pai
- A transformação no nó folha é a concatenação de todas as transformações no caminho do nó raiz até a folha
- Alterar a transformação de um grupo afeta todas as partes subsequentes
- Permite edição de alto nível simples, alterando apenas um nó, alteramos todos os relacionados

Implementando Representação Hierárquica

```
identity();
drawTorso();
pushmatrix(); // armazena a matriz de transformação atual na pilha
translate(0, 3); // matriz de transformação é atualizada pela translação
rotate(headRotation); // matriz de transformação é atualizada pela rotação
drawHead();
popmatrix(); // recupera matriz de transformação armazenada na pilha
pushmatrix();
translate(-2, 3);
rotate(rightShoulderRotation);
drawUpperArm();
pushmatrix();
translate(0, -3);
rotate(elbowRotation);
drawLowerArm();
pushmatrix();
translate(0, -3);
rotate(wristRotation);
drawHand();
popmatrix();
popmatrix();
popmatrix();
```





Insper

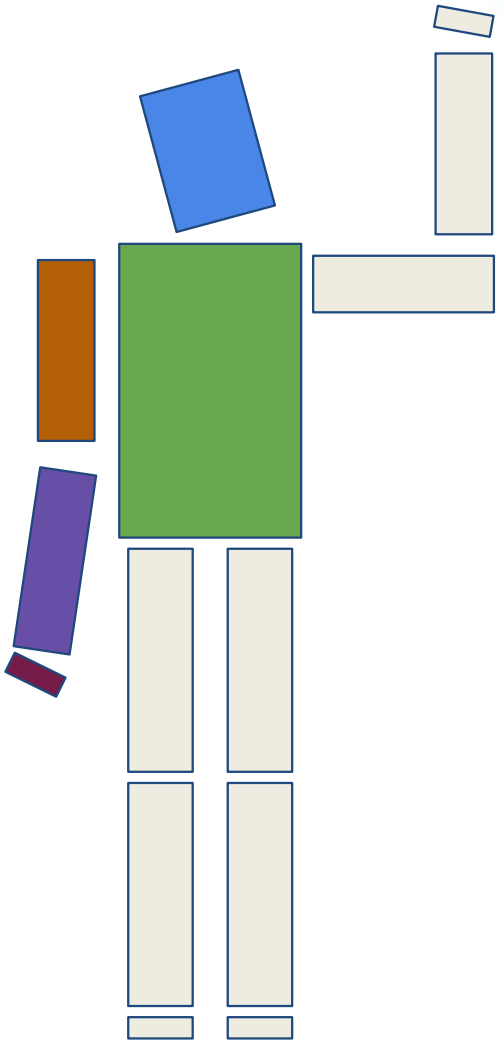
Implementando Representação Hierárquica

```
translate(0, 5);
drawTorso();
pushmatrix(); // armazena a matriz de transformação atual na pilha
translate(0, 5); // matriz de transformação é atualizada pela translação
rotate(headRotation); // matriz de transformação é atualizada pela rotação
drawHead();
popmatrix(); // recupera matriz de transformação armazenada na pilha
pushmatrix();
translate(-2, 3);
rotate(rightShoulderRotation);
drawUpperArm();
pushmatrix();
translate(0, -3);
rotate(elbowRotation);
drawLowerArm();
pushmatrix();
translate(0, -3);
rotate(wristRotation);
drawHand();
popmatrix();
popmatrix();
popmatrix();
```

mão direita

antebraço direito

braço direito



Insper

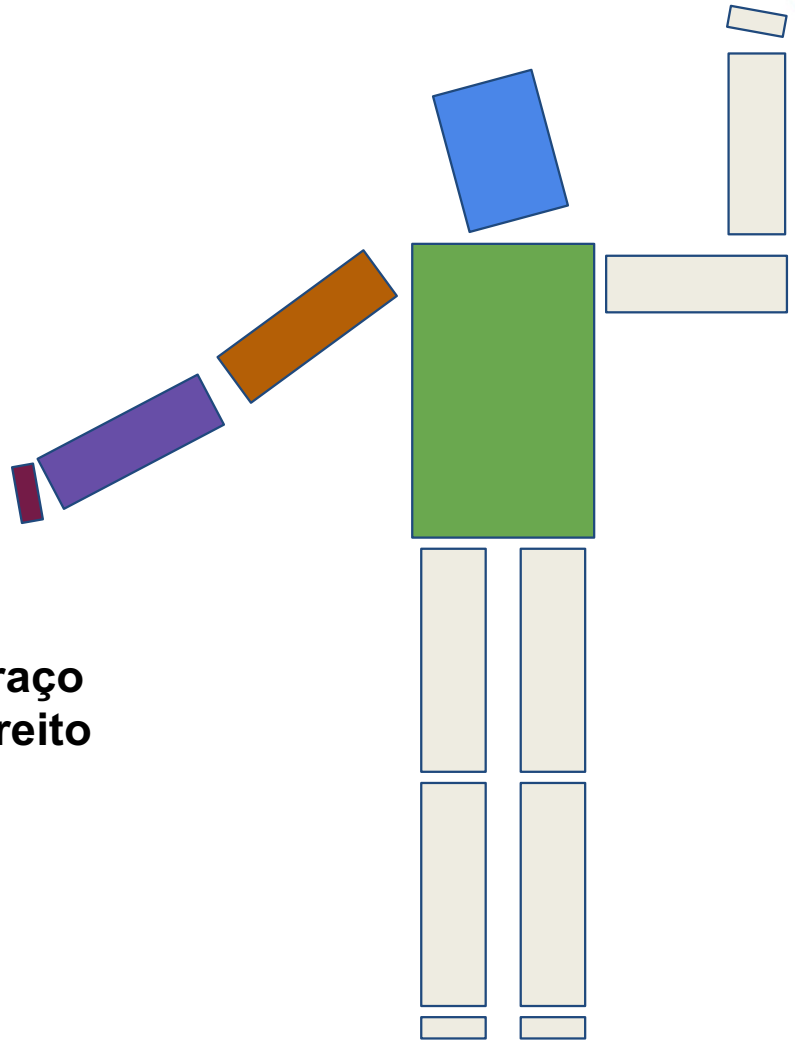
Implementando Representação Hierárquica

```
translate(0, 5);
drawTorso();
pushmatrix(); // armazena a matriz de transformação atual na pilha
translate(0, 5); // matriz de transformação é atualizada pela translação
rotate(headRotation); // matriz de transformação é atualizada pela rotação
drawHead();
popmatrix(); // recupera matriz de transformação armazenada na pilha
pushmatrix();
translate(-2, 3);
rotate(rightShoulderRotation);
drawUpperArm();
pushmatrix();
translate(0, -3);
rotate(elbowRotation);
drawLowerArm();
pushmatrix();
translate(0, -3);
rotate(wristRotation);
drawHand();
popmatrix();
popmatrix();
popmatrix();
```

mão direita

antebraço direito

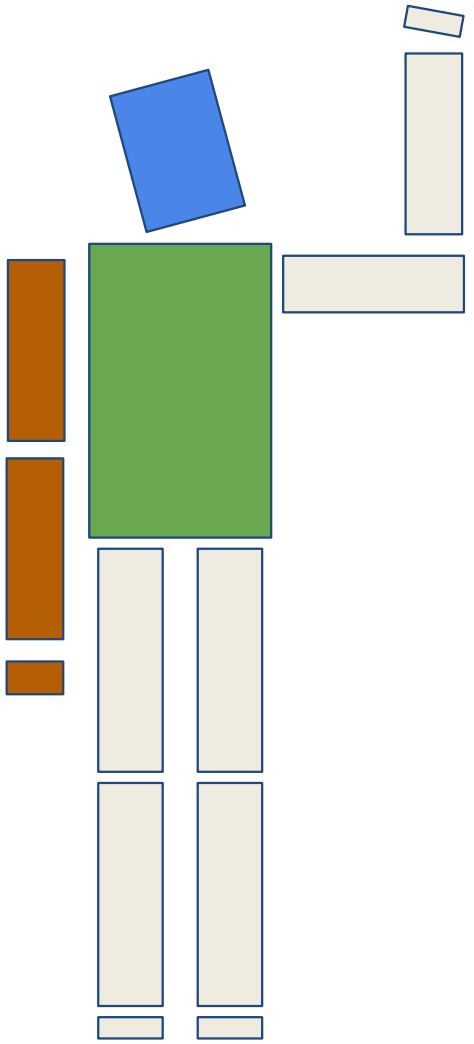
braço direito



Insper

Cena em X3D

```
<Transform>
  <Shape> <!-- Tronco -->
    <Box size="2 3 1"/>
    <Appearance><Material emissiveColor='0 1 0'/></Appearance>
  </Shape>
  <Transform translation="0 2.5 0" rotation="0 0 1 0.4">
    <Shape> <!-- Cabeça -->
      <Box size="1 1 1"/>
      <Appearance><Material emissiveColor='0 0 1'/></Appearance>
    </Shape>
  </Transform>
  <Transform translation="-1.6 0.3 0">
    <Shape> <!-- Braço -->
      <Box size="0.5 1.8 0.5"/>
      <Appearance><Material emissiveColor='1 0.5 0'/></Appearance>
    </Shape>
    <Transform translation="0.0 -2.0 0">
      <Shape> <!-- Antebraço -->
        <Box size="0.5 1.8 0.5"/>
        <Appearance><Material emissiveColor='1 0.5 0'/></Appearance>
      </Shape>
      <Transform translation="0.0 -1.2 0">
        <Shape> <!-- Mão -->
          <Box size="0.5 0.2 0.5"/>
          <Appearance><Material emissiveColor='1 0.5 0'/></Appearance>
        </Shape>
      </Transform>
    </Transform>
  </Transform>
</Transform>
```

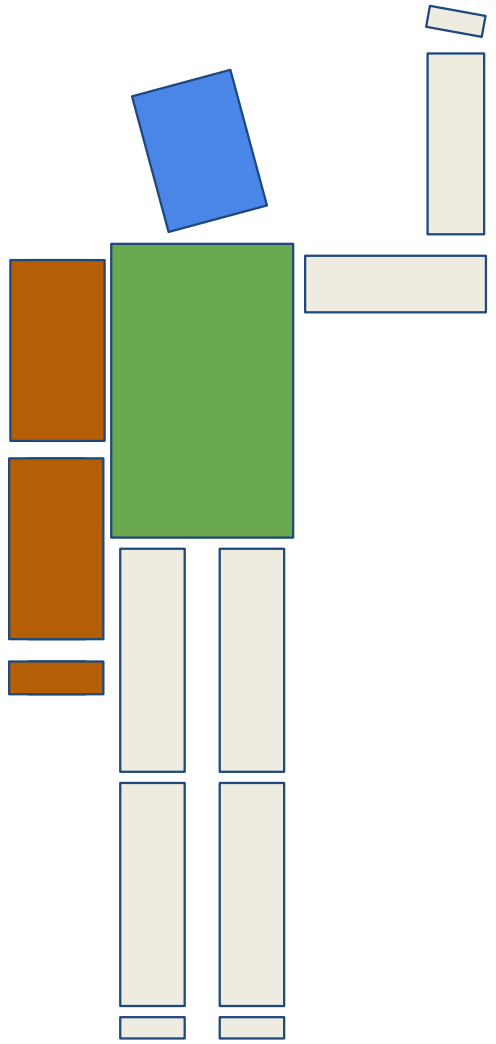


E se quisermos um braço mais musculoso?

Insper

Cena em X3D

```
<Transform>
  <Shape> <!-- Tronco -->
    <Box size="2 3 1"/>
    <Appearance><Material emissiveColor='0 1 0'/></Appearance>
  </Shape>
  <Transform translation="0 2.5 0" rotation="0 0 1 0.4">
    <Shape> <!-- Cabeça -->
      <Box size="1 1 1"/>
      <Appearance><Material emissiveColor='0 0 1'/></Appearance>
    </Shape>
  </Transform>
  <Transform translation="-1.6 0.3 0" scale="1.5 1 1.5">
    <Shape> <!-- Braço -->
      <Box size="0.5 1.8 0.5"/>
      <Appearance><Material emissiveColor='1 0.5 0'/></Appearance>
    </Shape>
    <Transform translation="0.0 -2.0 0">
      <Shape> <!-- Antebraço -->
        <Box size="0.5 1.8 0.5"/>
        <Appearance><Material emissiveColor='1 0.5 0'/></Appearance>
      </Shape>
      <Transform translation="0.0 -1.2 0">
        <Shape> <!-- Mão -->
          <Box size="0.5 0.2 0.5"/>
          <Appearance><Material emissiveColor='1 0.5 0'/></Appearance>
        </Shape>
      </Transform>
    </Transform>
  </Transform>
</Transform>
```

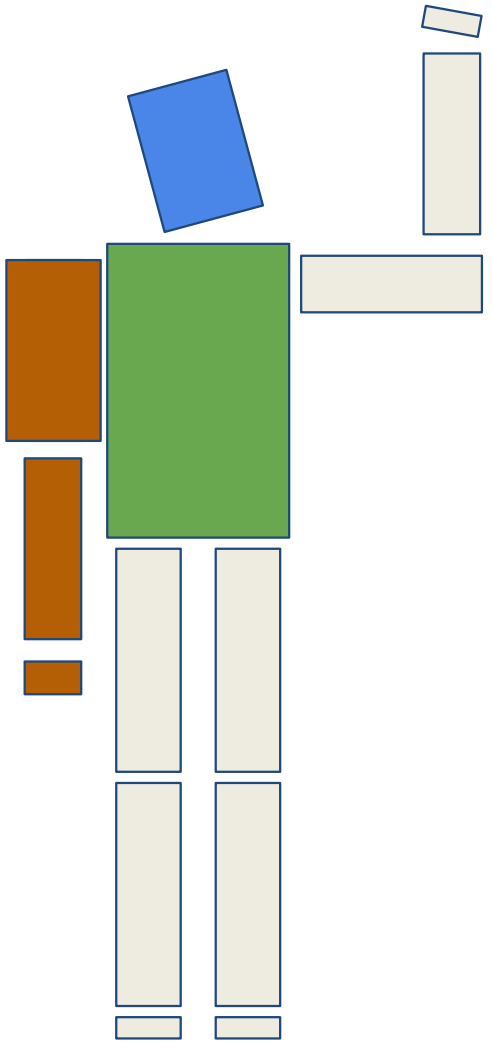


Como resolver para só o braço?

Insper

Cena em X3D

```
<Transform>
  <Shape> <!-- Tronco -->
    <Box size="2 3 1"/>
    <Appearance><Material emissiveColor='0 1 0'/></Appearance>
  </Shape>
  <Transform translation="0 2.5 0" rotation="0 0 1 0.4">
    <Shape> <!-- Cabeça -->
      <Box size="1 1 1"/>
      <Appearance><Material emissiveColor='0 0 1'/></Appearance>
    </Shape>
  </Transform>
  <Transform translation="-1.6 0.3 0" >
    <Transform scale="1.5 1 1.5">
      <Shape> <!-- Braço -->
        <Box size="0.5 1.8 0.5"/>
        <Appearance><Material emissiveColor='1 0.5 0'/></Appearance>
      </Shape>
    </Transform>
    <Transform translation="0.0 -2.0 0">
      <Shape> <!-- Antebraço -->
        <Box size="0.5 1.8 0.5"/>
        <Appearance><Material emissiveColor='1 0.5 0'/></Appearance>
      </Shape>
      <Transform translation="0.0 -1.2 0">
        <Shape> <!-- Mão -->
          <Box size="0.5 0.2 0.5"/>
          <Appearance><Material emissiveColor='1 0.5 0'/></Appearance>
        </Shape>
      </Transform>
    </Transform>
  </Transform>
</Transform>
```



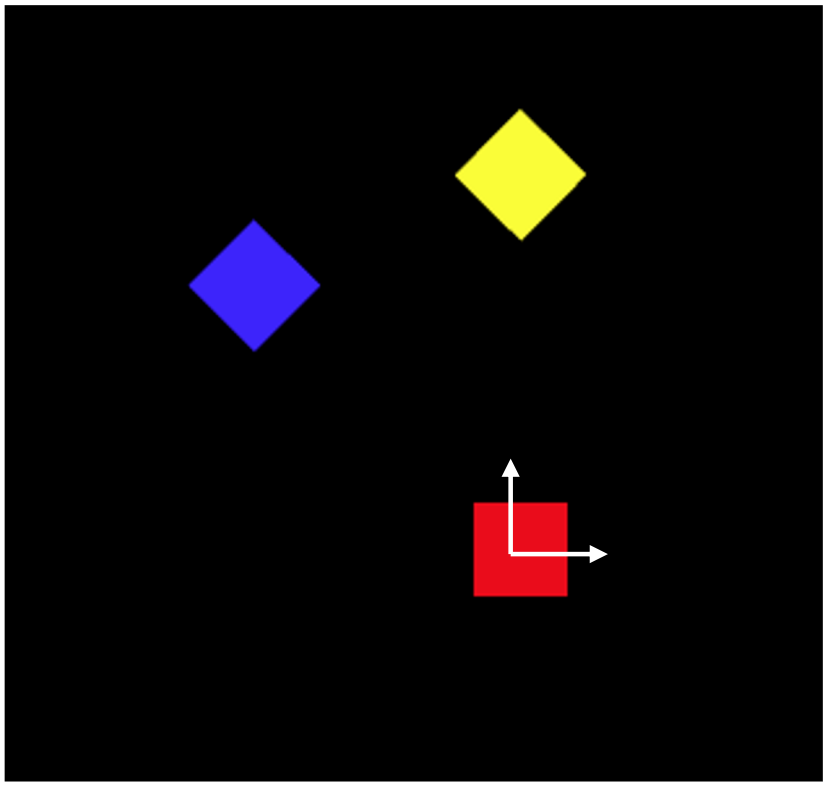
Perguntas

Referência:
O cubo vermelho foi criado na origem

Pergunta:
Qual cubo foi:

1º rotacionado 45° e depois transladado na vertical?

1º transladado na vertical e depois rotacionado de 45°?



$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 4 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad R = \begin{bmatrix} 0.71 & -0.71 & 0 & 0 \\ 0.71 & 0.71 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Perguntas

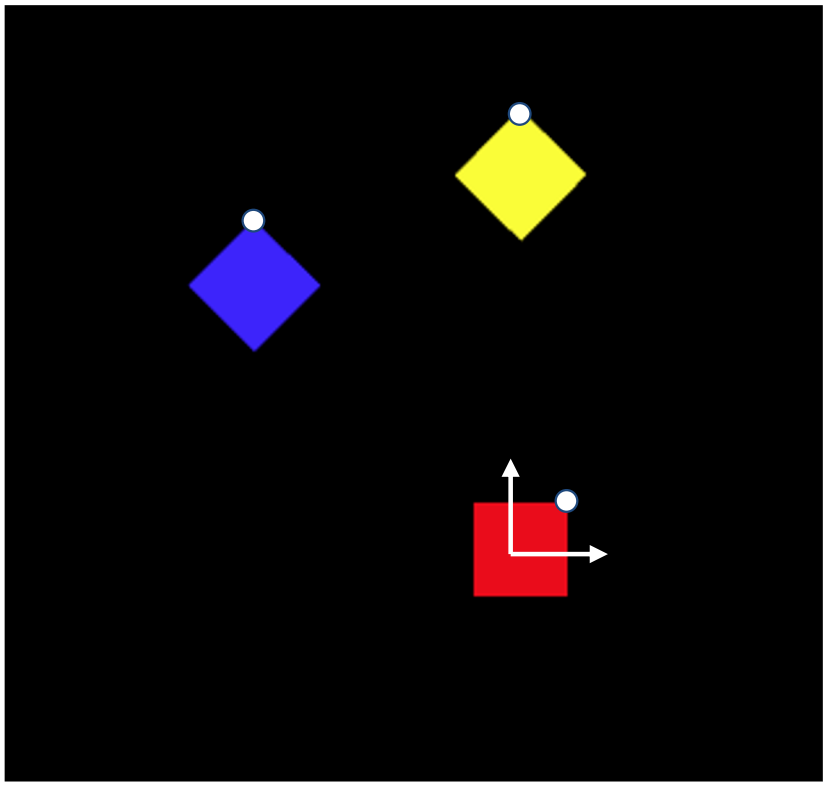
$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 4 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad R = \begin{bmatrix} 0.71 & -0.71 & 0 & 0 \\ 0.71 & 0.71 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Primeiro Rotaciona depois Translada

$$TR = \begin{bmatrix} 0.71 & -0.71 & 0 & 0 \\ 0.71 & 0.71 & 0 & 4 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \implies \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 5.42 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

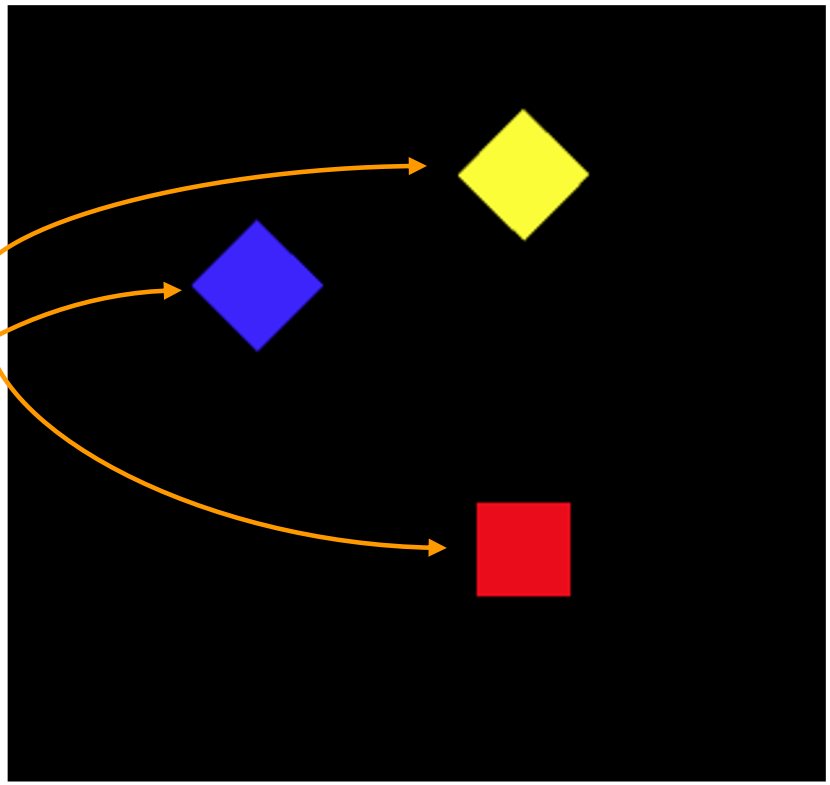
Primeiro Translada depois Rotaciona

$$RT = \begin{bmatrix} 0.71 & -0.71 & 0 & -2.84 \\ 0.71 & 0.71 & 0 & 2.84 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \implies \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2.84 \\ 4.26 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$



Perguntas

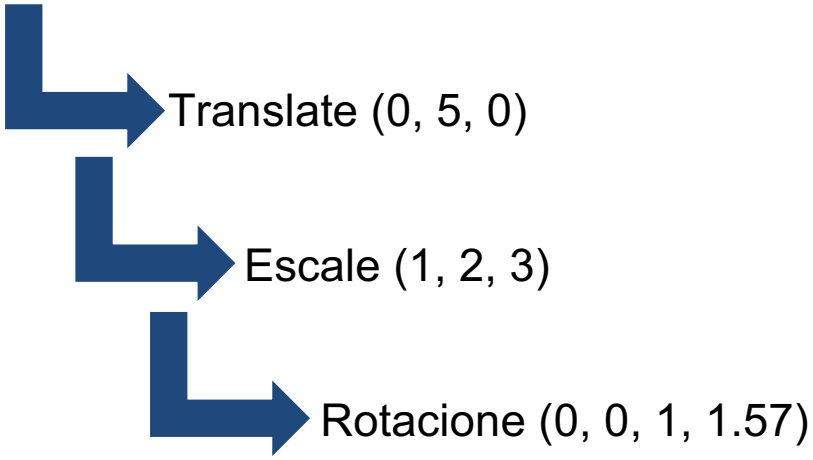
```
<Scene>
 <Viewpoint position="0 0 15" fieldOfView="0.7854"/>
 <Transform translation="0 0 0">
  <Transform rotation="0 0 1 0">
   <Shape>
    <Box size="1 1 1"/>
   <Appearance>
    <Material emissiveColor="1 0 0"/>
   </Appearance>
   </Shape>
  </Transform>
 </Transform>
 <Transform translation="0 4 0">
  <Transform rotation="0 0 1 0.79">
   <Shape>
    <Box size="1 1 1"/>
   <Appearance>
    <Material emissiveColor="      "/>
   </Appearance>
   </Shape>
  </Transform>
 </Transform>
 <Transform rotation="0 0 1 0.79">
  <Transform translation="0 4 0">
   <Shape>
    <Box size="1 1 1"/>
   <Appearance>
    <Material emissiveColor="      "/>
   </Appearance>
   </Shape>
  </Transform>
 </Transform>
</Scene>
```



Insper

Usando Matrizes

Na prática multiplicamos as matrizes e empilhamos.
Por exemplo:




```
<Transform translation="0 5 0">
  <Transform scale="1 2 3">
    <Transform rotation="0 0 1 1.57">
```

Usando Matrizes

Na prática multiplicamos as matrizes e empilhamos.

Por exemplo:

Translação (0,5,0)

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 5 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

PushMatrix()

Escala (1,2,3)

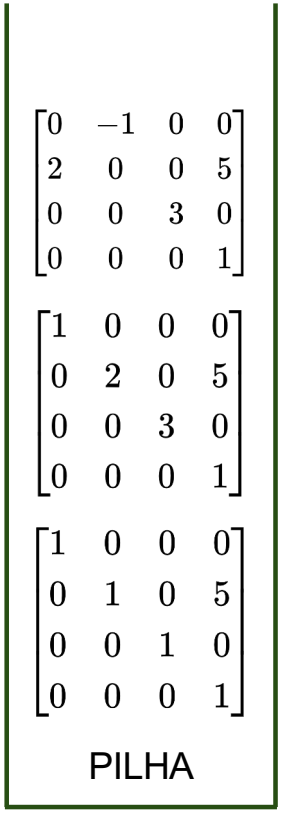
$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 5 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 5 \\ 0 & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

PushMatrix()

Rotação (0, 0, 1, 1.57)

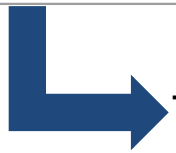
$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 5 \\ 0 & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 5 \\ 0 & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

PushMatrix()



Insper

Outra Forma de Pensar

	Identidade * pontos
 Translate (0, 5, 0)	Identidade * Translação * pontos
 Escale (1, 2, 3)	Identidade * Translação * Escala * pontos
 Rotacione (0, 0, 1, 1.57)	Identidade * Translação * Escala * Rotação * pontos

ATIVIDADE:

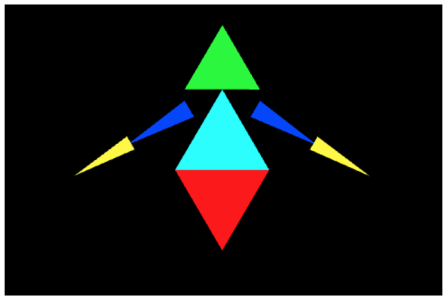
Acesse o notebook no site da disciplina.

Crie uma cópia para você e realize todos os exercícios.

Voltamos em 30 minutos?

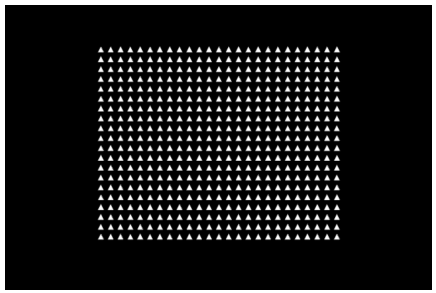
Terceira parte do projeto 1

letras.x3d

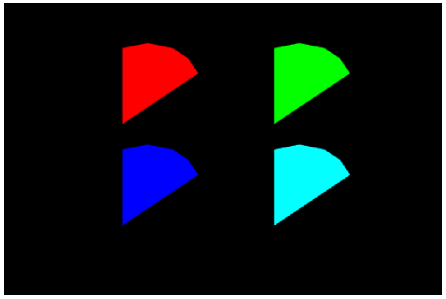


avatar.x3d

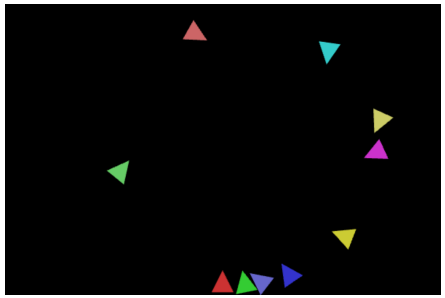
tiradetrinagulos.x3d



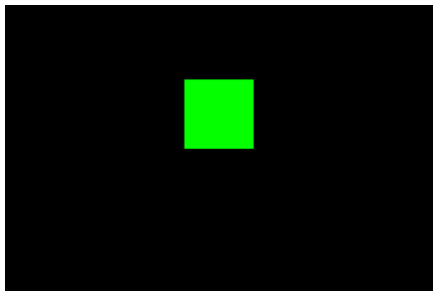
bound500.x3d



leques.x3d



girando.x3d



vertices10.x3d

https://lpsoares.github.io/Renderizador/

Atualizando o Fork do Repositório

git remote add upstream https://github.com/lpsoares/Renderizador

git pull upstream master

Eventualmente:

```
git fetch upstream
git merge upstream/master
```

Insper

Computação Gráfica

Luciano Soares
<lpsoares@insper.edu.br>

Fabio Orfali
<fabioO1@insper.edu.br>