

Professor: Gilzamir
Gomes

Computação Gráfica

Introdução

Objetivos

- Sistemas: criar programas gráficos 3D (visualizadores de cena 3D em WebGL e Raytracer Offline).
- Teoria: aspectos matemáticos e algoritmos subjacentes aos sistemas gráficos 3D modernos.
- Este curso não é sobre um programa gráfico específico, como Maya, Alias, DirectX, mas sobre os conceitos subjacentes aos programas gráficos em geral. Você criará programas em WebGL/GLSL.

Por que estudamos CG?

- Definição
- Aplicações
- Desafios intelectuais fundamentais

Definição

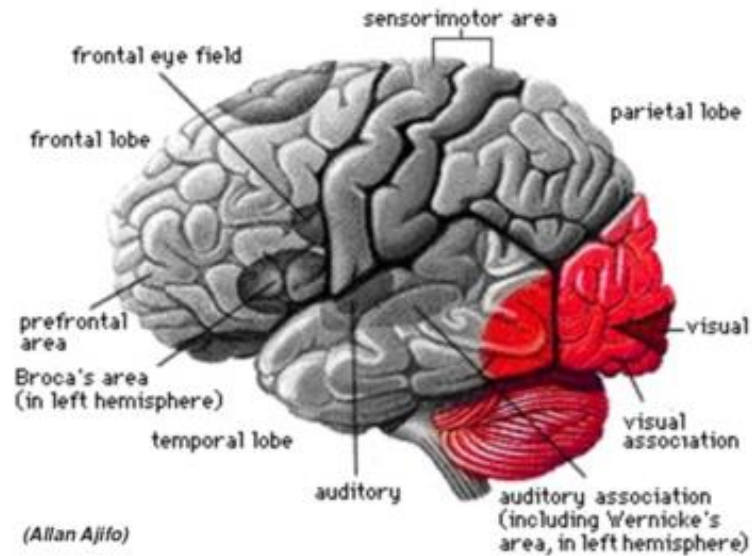
- O uso de computadores para sintetizar e manipular informações visuais.

Por que
informações
visuais?

- Humanos são criaturas visuais

Why *visual* information?

About 30% of brain dedicated to visual processing...



...eyes are highest-bandwidth port into the head!

História da Representação Visual

- Humanos sempre foram criaturas visuais



Indonesian cave painting (~38,000 BCE)

Tecnologia Visual: Pintura/ilustração

- Não puramente representacional:
ideias, sentimentos, dados,...



Tecnologia Visual: esculturas



Tecnologia Visual: fotografia/geração de imagens

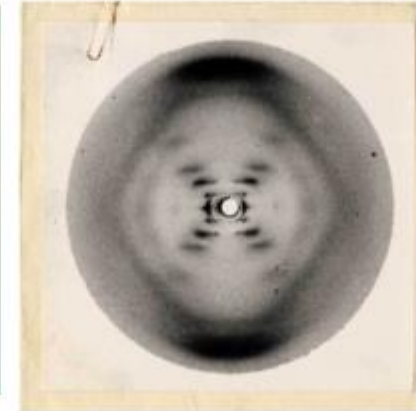
- Processamento de dados visuais
não mais acontece na cabeça!!



Joseph Niépce, "View from the Window at Le Gras" (182

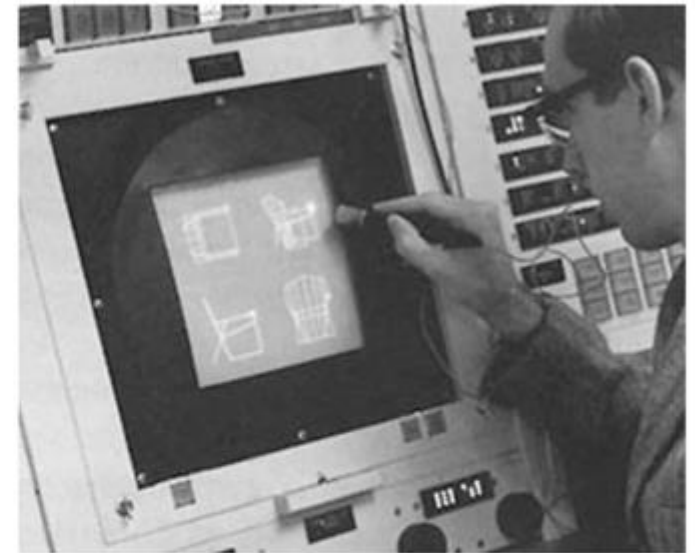
Tecnologia Visual: fotografia/geração de imagens

- Processamento de dados visuais
não mais acontece na cabeça!!



Tecnologia visual: imagem digital

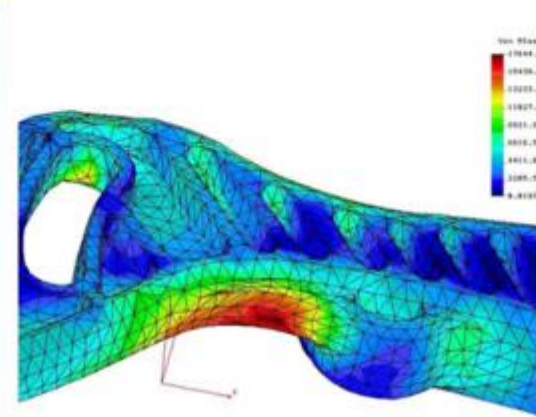
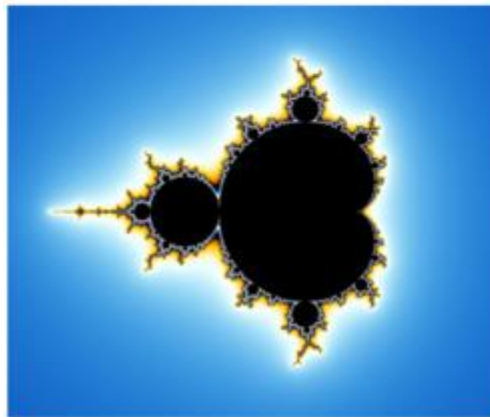
- Intersecção de representação visual e computação



Ivan Sutherland, "Sketchpad" (1963)

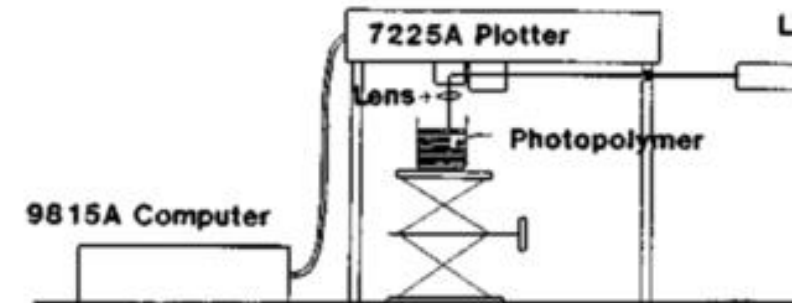
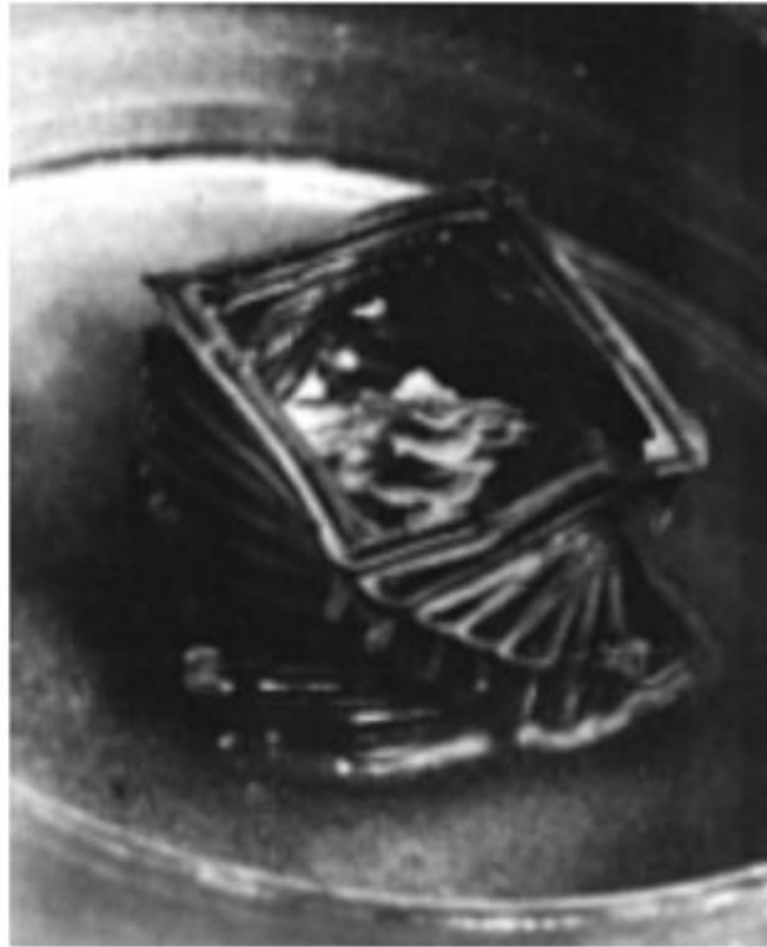
Tecnologia visual: imagem digital

- Intersecção de representação visual e computação



Tecnologia Visual: Representação 3D

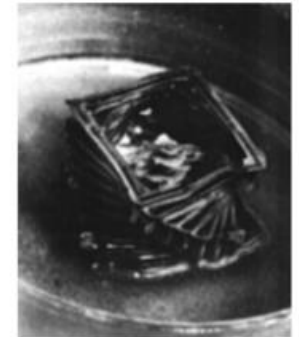
- Realização física de uma forma digital



A.J. Herbert / 3M (1979)

Tecnologias para representação visual

- Desenhar/pintar/ilustar (~40.000 a.C)
- Esculturas (~40.000 a.C)
- Fotografia (~1826)
- Imagem Digital (~1963)
- Fabricação 3D (~1979)

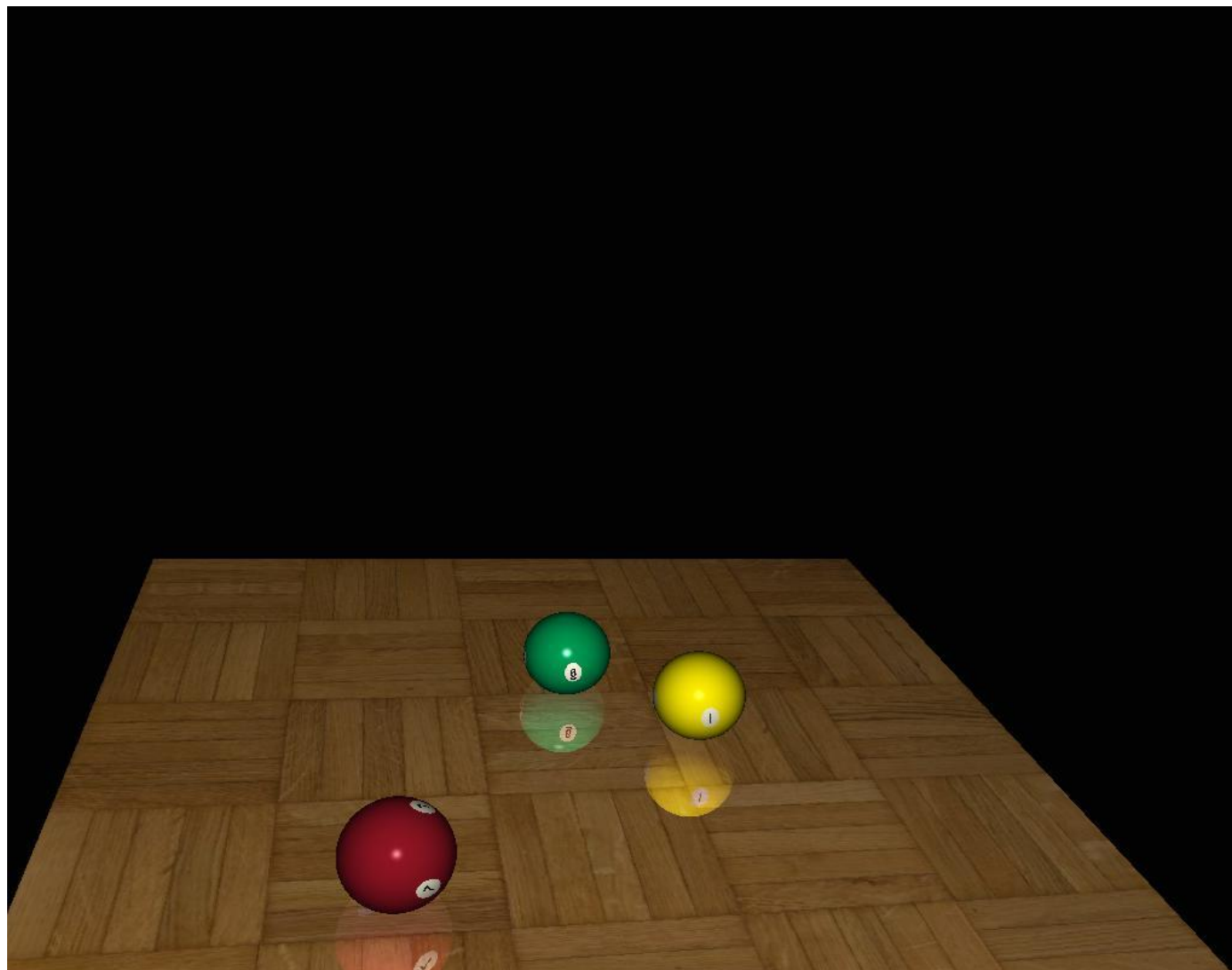


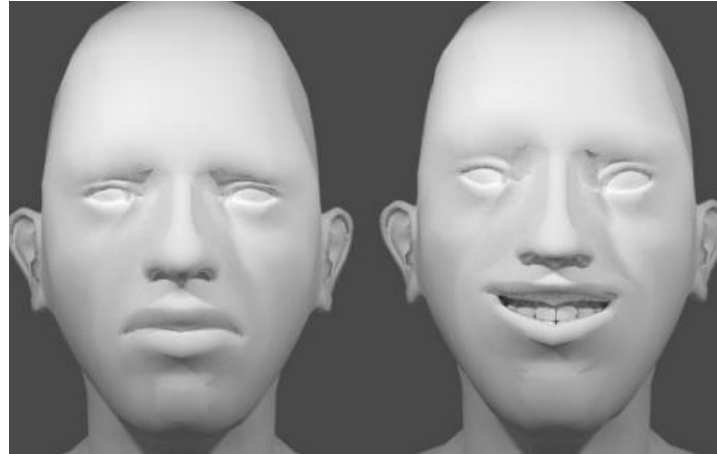
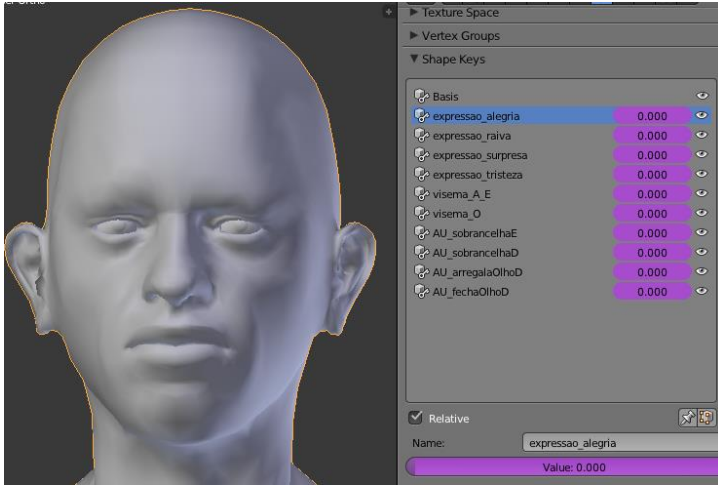
Fundamentos de Computação Gráfica

- Todas as aplicações demandam teoria e sistemas sofisticados
- Teoria
 - Representações Geométricas
 - Teoria da Amostragem
 - Integração e Otimização
 - Percepção e Cor
- Sistemas
 - Processamento heterogêneo e paralelo
 - Linguagens de programação gráficas específicas

Exemplo de Trabalho Desenvolvido por Alunos

Raytracer implementado
com C++





$$[P_r] = [P_o] + ([P_E] - [P_o])t$$



Exemplo de Trabalho Desenvolvido por Aluno (TCC) -



Atividade

- Modelar e desenhar um cubo
 - Objetivo: gerar um desenho realístico de um cubo
 - Questões principais:
 - Modelagem: como descrever o cubo?
 - Renderização: como podemos visualizar esse modelo?



Atividade

- Modelar o cubo...

Atividade

- Modelar o cubo
- Suponha:
 - Cubo centrado em $(0,0,0)$
 - Tem dimensão $2 \times 2 \times 2$

Atividade

- Modelar o cubo
- Suponha:
 - Cubo centrado em $(0,0,0)$
 - Tem dimensão $2 \times 2 \times 2$
- Questão:
 - Quais são as coordenadas dos vértices do cubo?

Atividade

- Modelar o cubo
- Suponha:
 - Cubo centrado em $(0,0,0)$
 - Tem dimensão $2 \times 2 \times 2$
- Questão:
 - Quais são as coordenadas dos vértices do cubo?
 - A: $(1, 1, 1)$, B: $(-1, 1, 1)$, C: $(1, -1, 1)$, D: $(-1, -1, 1)$
 - E: $(1, 1, -1)$, F: $(-1, 1, -1)$, G: $(1, -1, -1)$, H: $(-1, -1, -1)$

Atividade

- Modelar o cubo
- Suponha:
 - Cubo centrado em $(0,0,0)$
 - Tem dimensão $2 \times 2 \times 2$
- Questão:
 - Quais são as coordenadas dos vértices do cubo?
 - A: $(1, 1, 1)$, B: $(-1, 1, 1)$, C: $(1, -1, 1)$, D: $(-1, -1, 1)$
 - E: $(1, 1, -1)$, F: $(-1, 1, -1)$, G: $(1, -1, -1)$, H: $(-1, -1, -1)$
 - Quais são as suas arestas: AB, CD, EF, GH, AC, BD, EG, FH, AE, CG, BF, DH

Atividade

- Desenhar o Cubo...
- Nós temos o modelo

VERTICES

A: (1, 1, 1)	E: (1, 1, -1)
B: (-1, 1, 1)	F: (-1, 1, -1)
C: (1, -1, 1)	G: (1, -1, -1)
D: (-1, -1, 1)	H: (-1, -1, -1)

EDGES

AB, CD, EF, GH,
AC, BD, EG, FH,
AE, CG, BF, DH

Atividade

VERTICES

A: (1, 1, 1) E: (1, 1,-1)
B: (-1, 1, 1) F: (-1, 1,-1)
C: (1,-1, 1) G: (1,-1,-1)
D: (-1,-1, 1) H: (-1,-1,-1)

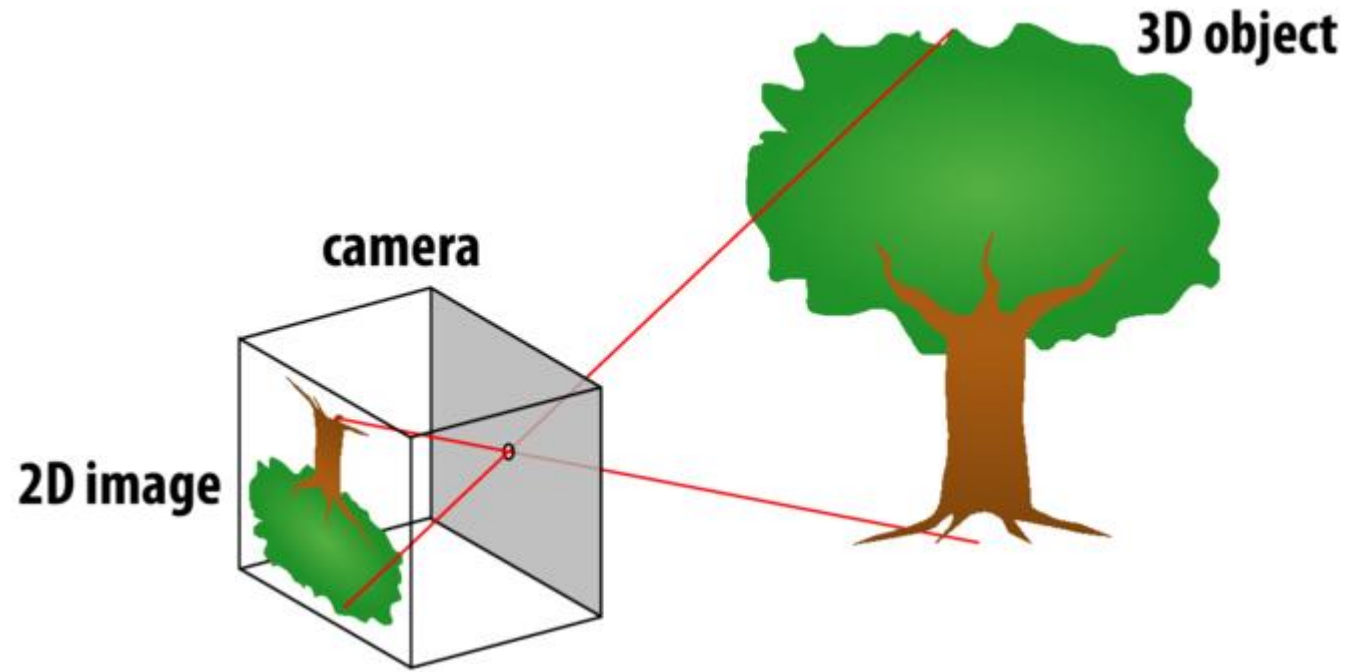
EDGES

AB, CD, EF, GH,
AC, BD, EG, FH,
AE, CG, BF, DH

- Desenhar o Cubo...
- Nós temos o modelo
 - Como desenhamos este cubo 3D em uma tela plana (2D)?
 - Estratégia Básica:
 - mapear vértices 3D para pontos 2D na imagem
 - Conectar pontos 2D com segmentos retas
 - Mas como?

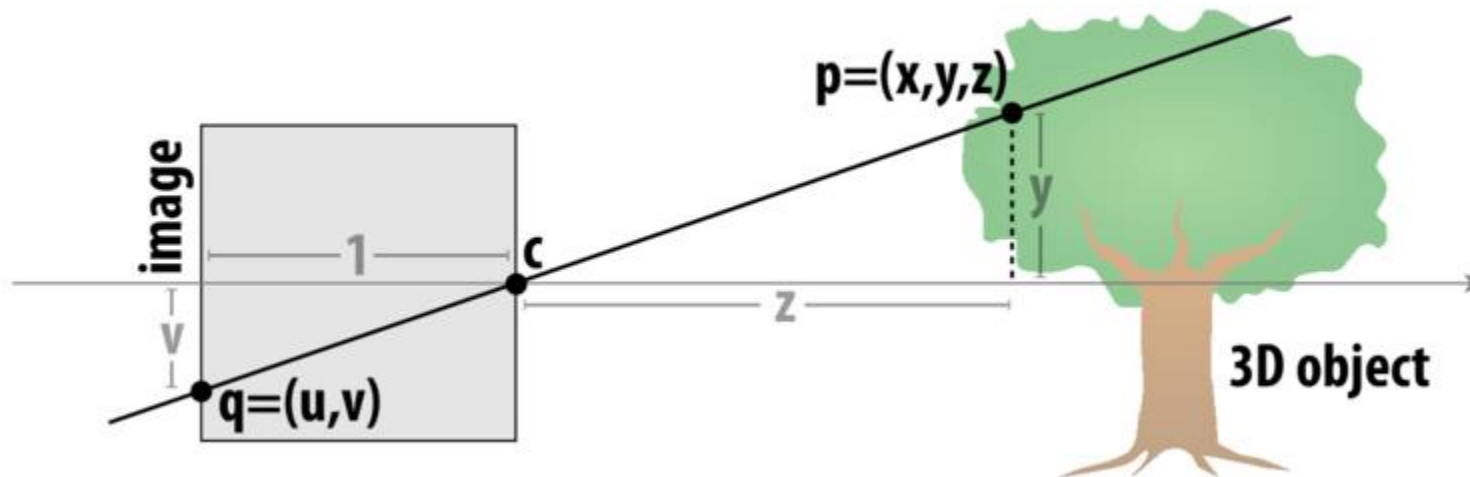
Projeção Perspectiva

- Objetos parecem menores quando estão mais distantes
- Por que isto acontece?
- Considere um modelo simples de uma câmera *pinhole*



Projeção Perspectiva

- Visão lateral
- Onde exatamente um ponto $p = (x, y, z)$ é desenhado na imagem?
- Considere que seja o ponto $q = (u, v)$
- Note os dois triângulos similares



- Assuma que a câmera tem tamanho de 1 unidade em relação ao ponto c.
- Então $\frac{v}{1} = \frac{y}{z}$, $v = \frac{y}{z}$
- E $u = \frac{x}{z}$

Atividade

- Agora desenhe
 - Precisamos de 12 voluntários
 - Cada pessoa desenha a aresta do cubo
 - Assuma que a câmera (c) está em $c=(2, 3, 5)$
 - Converta as coordenadas (x, y, z) de cada ponto terminal em (u, v):
 - Subtraia a posição da câmera
 - Divida x e y por z.
 - Desenhe a linha entre (u1, v1) e (u2, v2)

VERTICES

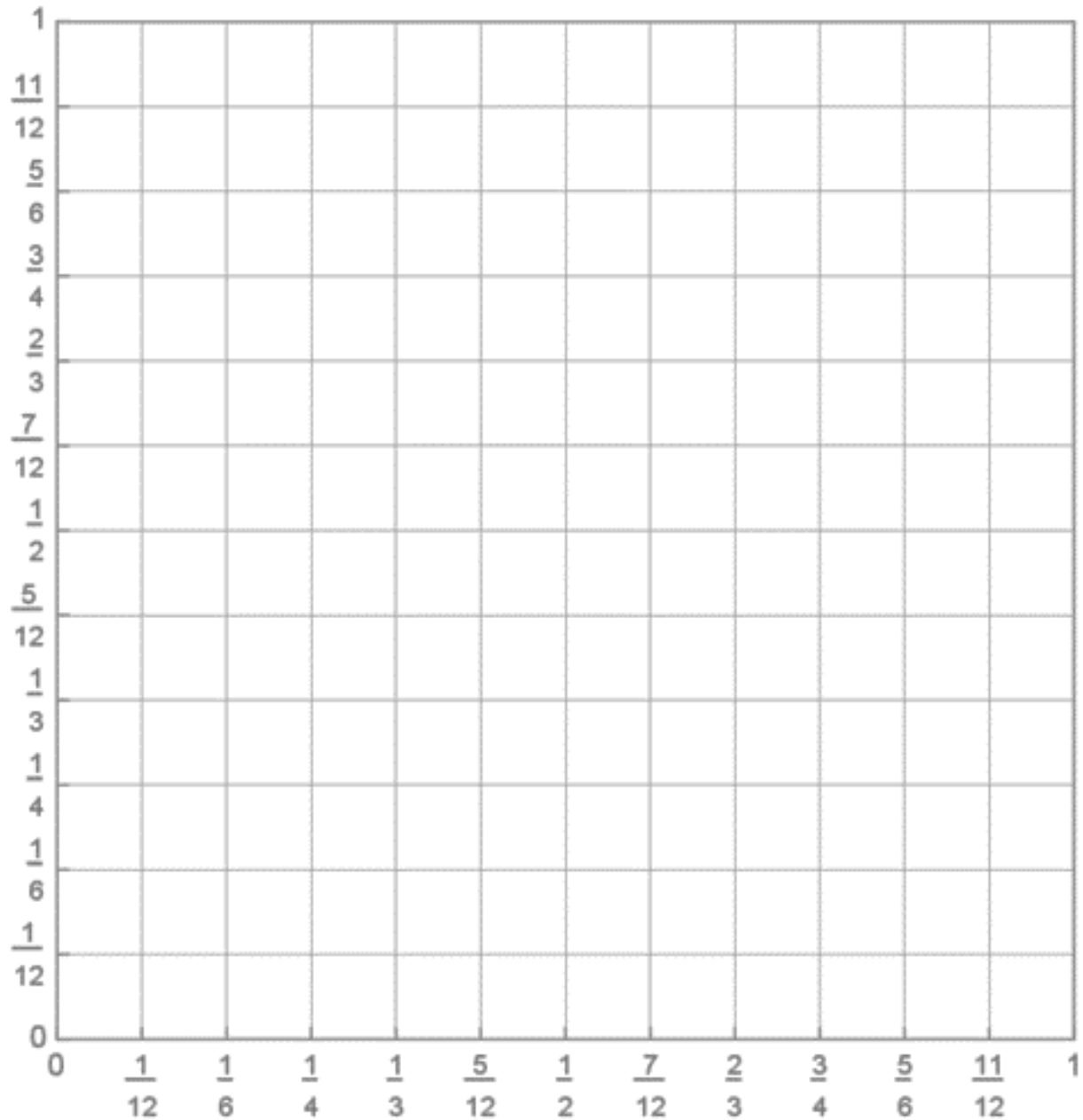
A: (1, 1, 1)	E: (1, 1, -1)
B: (-1, 1, 1)	F: (-1, 1, -1)
C: (1, -1, 1)	G: (1, -1, -1)
D: (-1, -1, 1)	H: (-1, -1, -1)

EDGES

AB, CD, EF, GH,
AC, BD, EG, FH,
AE, CG, BF, DH

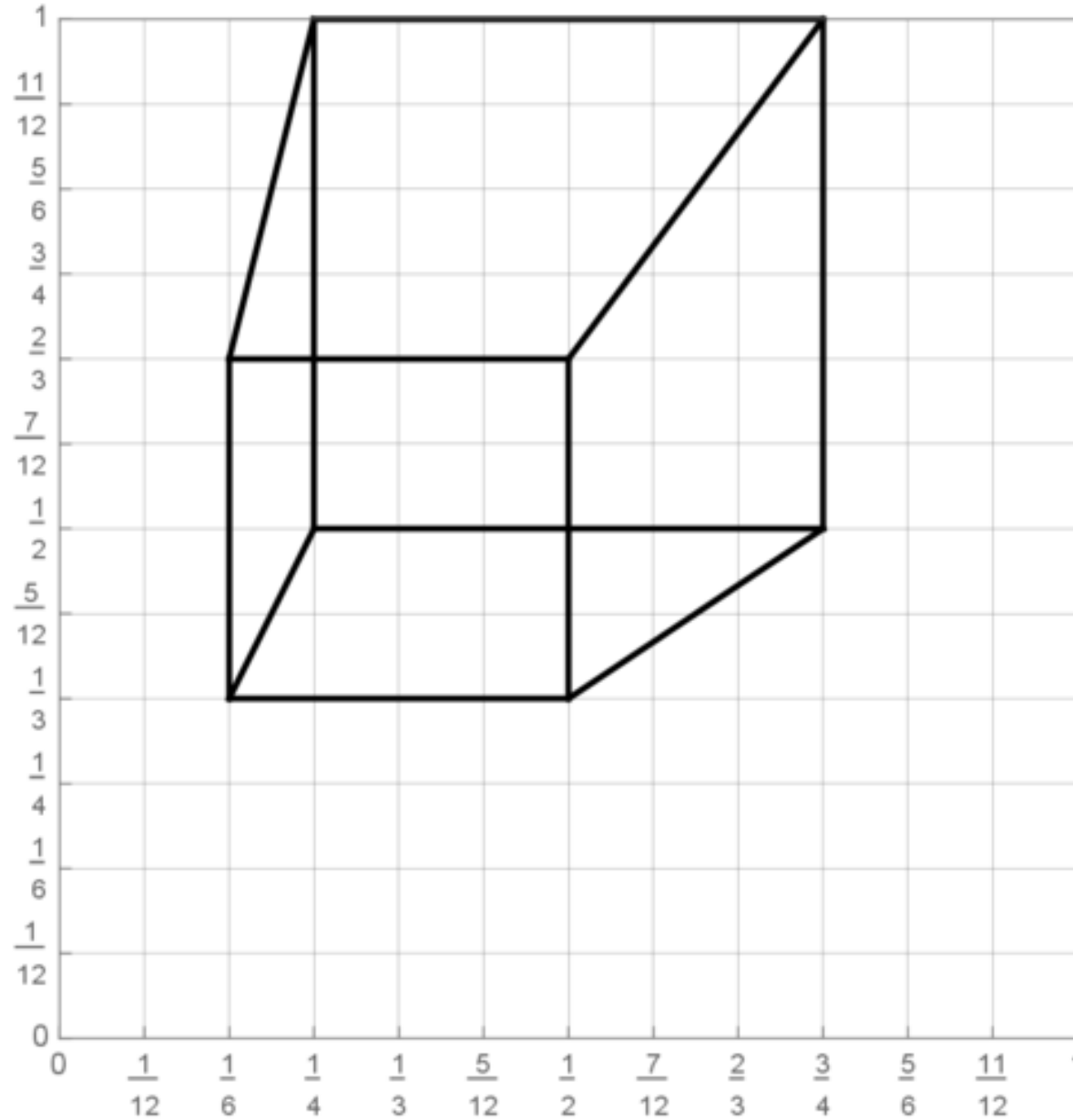
Atividade

- Saída



Atividade

- Saída



2D coordinates:

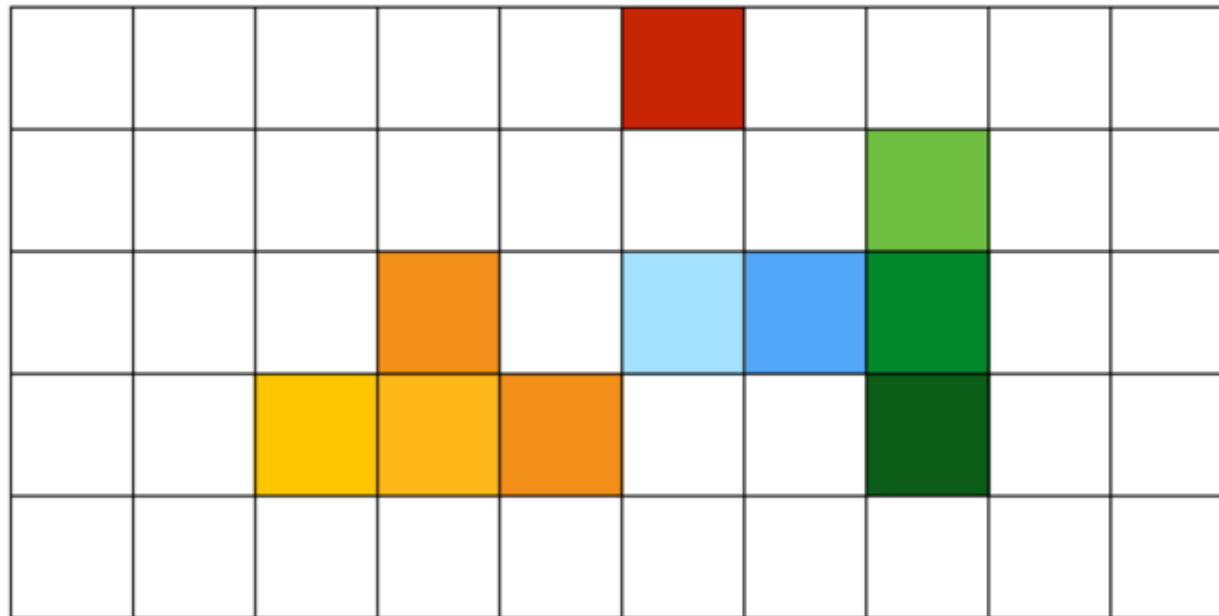
- A: $1/4, 1/2$
- B: $3/4, 1/2$
- C: $1/4, 1$
- D: $3/4, 1$
- E: $1/6, 1/3$
- F: $1/2, 1/3$
- G: $1/6, 2/3$
- H: $1/2, 2/3$

Mas Espere!!!!

Como podemos desenhar linhas em um computador?

Saída de dispositivo raster

- Abstração comum de um dispositivo raster
 - Imagem representada como uma grade (matriz) bidimensional de pixels (Picture Elements)
 - Cada pixel pode tomar um único valor de cor

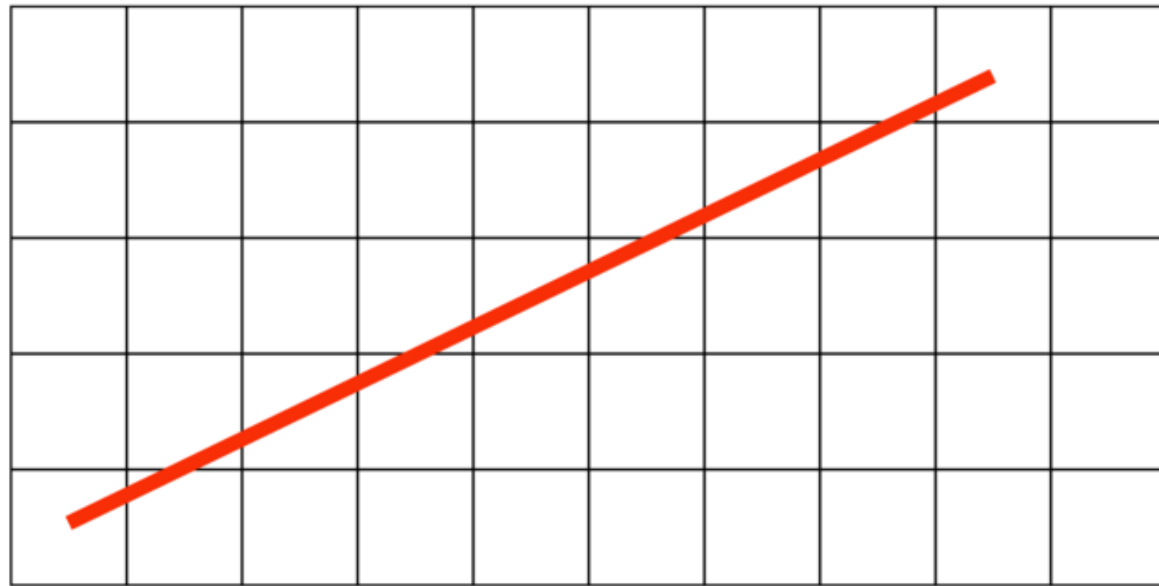


LOREEN

Saída de dispositivo raster

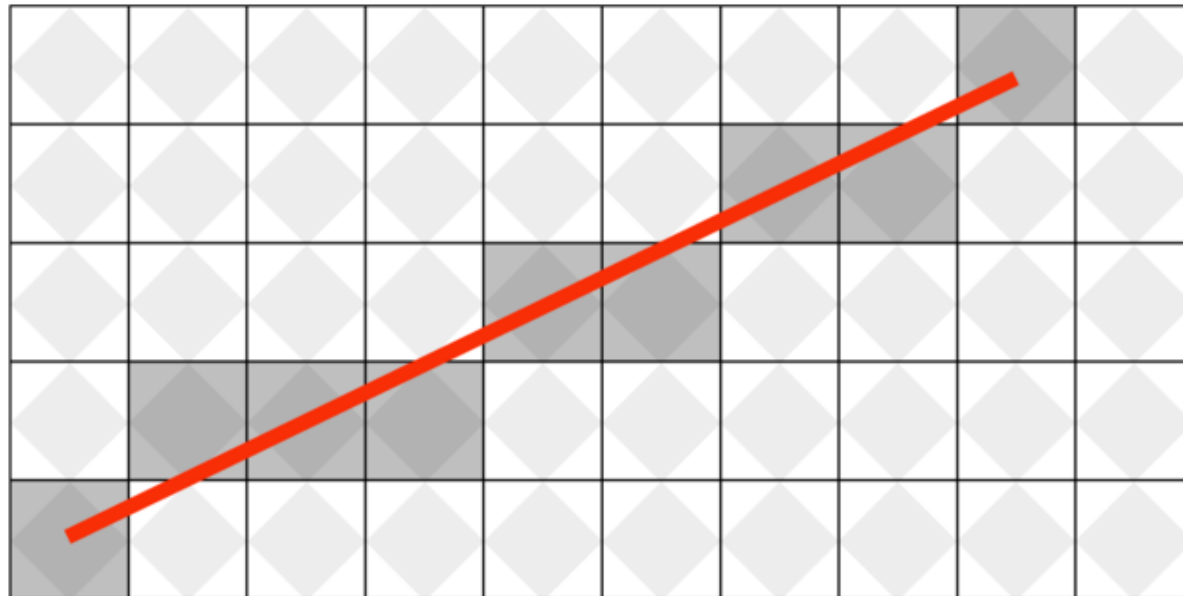
Quais pixels deveriam ser coloridos para representar uma linha?

- Rasterização: processo de converter um objeto contínuo em uma representação discreta em uma matriz de pixels (*raster grid*)



Quais pixels deveriam ser coloridos para representar uma linha?

- Quais pixels deveríamos colorir para representar a linha? Regra do diamante (utilizada por GPUs modernas)
 - Colorir apenas se a linha passa através do diamante associado ao pixel

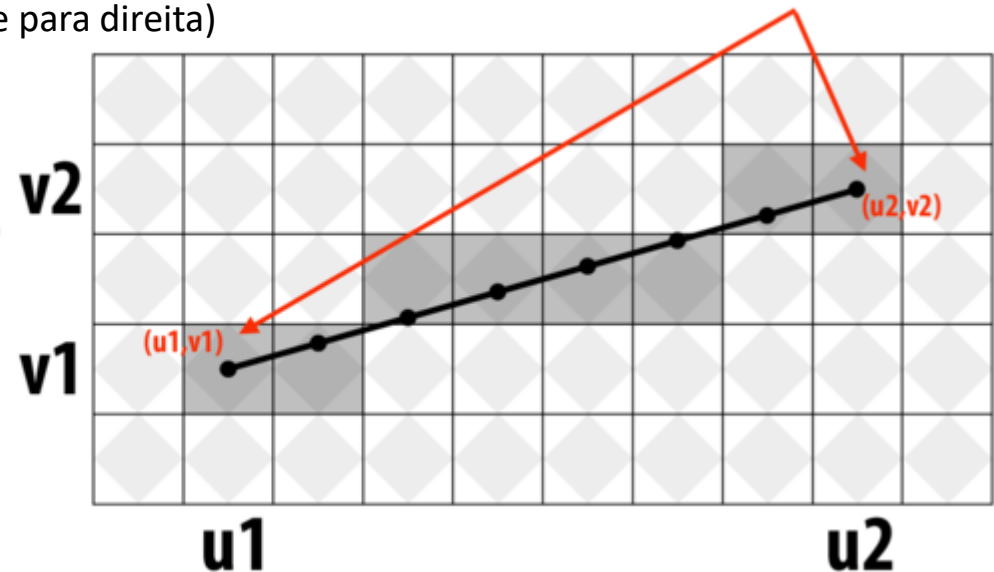


Quais pixels deveriam ser coloridos para representar uma linha?

- A linha é representada por pontos finais inteiros (u_1, v_1), (u_2, v_2)
- A inclinação da linha é dada por: $s = (v_2 - v_1)/(u_2 - u_1)$
- Considere o caso especial:
 - $u_1 < u_2, v_1 < v_2$ (pontos da linha seguindo a direção para cima e para direita)
 - $0 < s < 1$ (x muda mais rápido do que y)

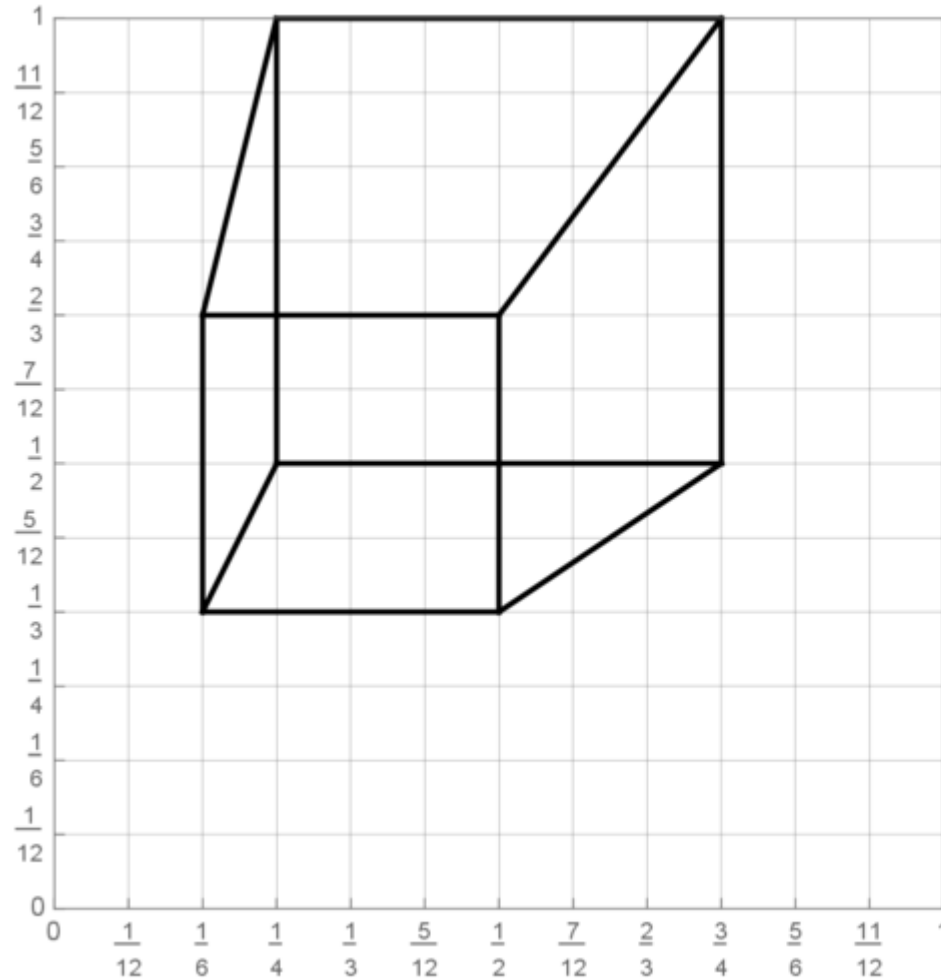
Assumir que coordenadas
estão no centro do pixel

```
v = v1;
for( u=u1; u<=u2; u++ )
{
    v += s;
    draw( u, round(v) )
}
```



- Otimização comum: reescrever o algoritmo utilizando apenas aritmética inteira (algoritmo de Bresenham)

Nossas linhas desenhadas



2D coordinates:

A: $\frac{1}{4}, \frac{1}{2}$

B: $\frac{3}{4}, \frac{1}{2}$

C: $\frac{1}{4}, 1$

D: $\frac{3}{4}, 1$

E: $\frac{1}{6}, \frac{1}{3}$

F: $\frac{1}{2}, \frac{1}{3}$

G: $\frac{1}{6}, \frac{2}{3}$

H: $\frac{1}{2}, \frac{2}{3}$

Nós apenas renderizamos linhas simples de um cubo

- Mas para renderizarmos imagens (ou animações) mais realísticas, precisamos de modelos mais ricos do mundo.
 - Superfícies
 - Movimento
 - Materiais
 - Luiz
 - Câmeras

Aplicações

- Filmes
- Jogos
- *Computer Aided Design* (CAD)
- Simulação de Iluminação (interiores, automóveis)
- Visualização (Científica, Médica)
- Realidade Virtual
- Educação
- O que mais?

Desafios Intelectuais

- Desafios Intelectuais Fundamentais:
 - Criar e interagir com mundos virtuais realísticos.
 - Requer a compreensão de todos os aspectos do mundo físico.
 - Novos métodos computacionais, de exibição e novas tecnologias.
- Desafios Técnicos
 - Matemática da Projeção Perspectiva, Curvas, Superfícies.
 - Física da Luz e Sombreamento.
 - Programação de softwares gráficos 3D, hardware...

Exemplos de Aplicações

- Piratas do Caribe 3

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=Tmm4BQX8TCQ>



- > Quarenta processadores em paralelo
- > 370 tiros de canhão dentro do turbilhão

Exemplo de Aplicação

- A mágica por trás do filme

Simulação de Fluídos



Battleship



The Day After Tomorrow



© 2003 Warner Bros. Pictures. All Rights Reserved.

Terminator 2

Sistema de Particulas



**Harry Potter and the Order of
the Phoenix**



Terminator 3



Star Wars Episode III

Efeitos
Visuais:
Criaturas
Virtuais



oda, Star Wars Episode II



Sméagol/Gollum, The Lo
the Rings

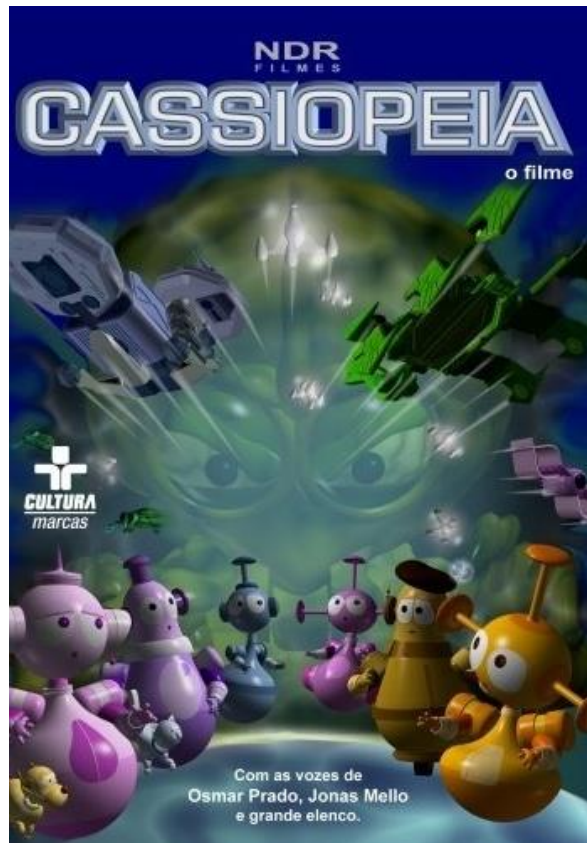
Captura de Movimento



Facial capture in Avatar



**Motion capture of swimmer Dana V.
Manhattan M**



Filmes Animados

Batman Arkham Origins:

Simulação de tecidos para que a capa reaja como se espera aos movimentos do personagem e do vento.



Call of Duty Ghost:

As nuvens provocadas por bombas de fumaça acompanham os movimentos dos personagens.



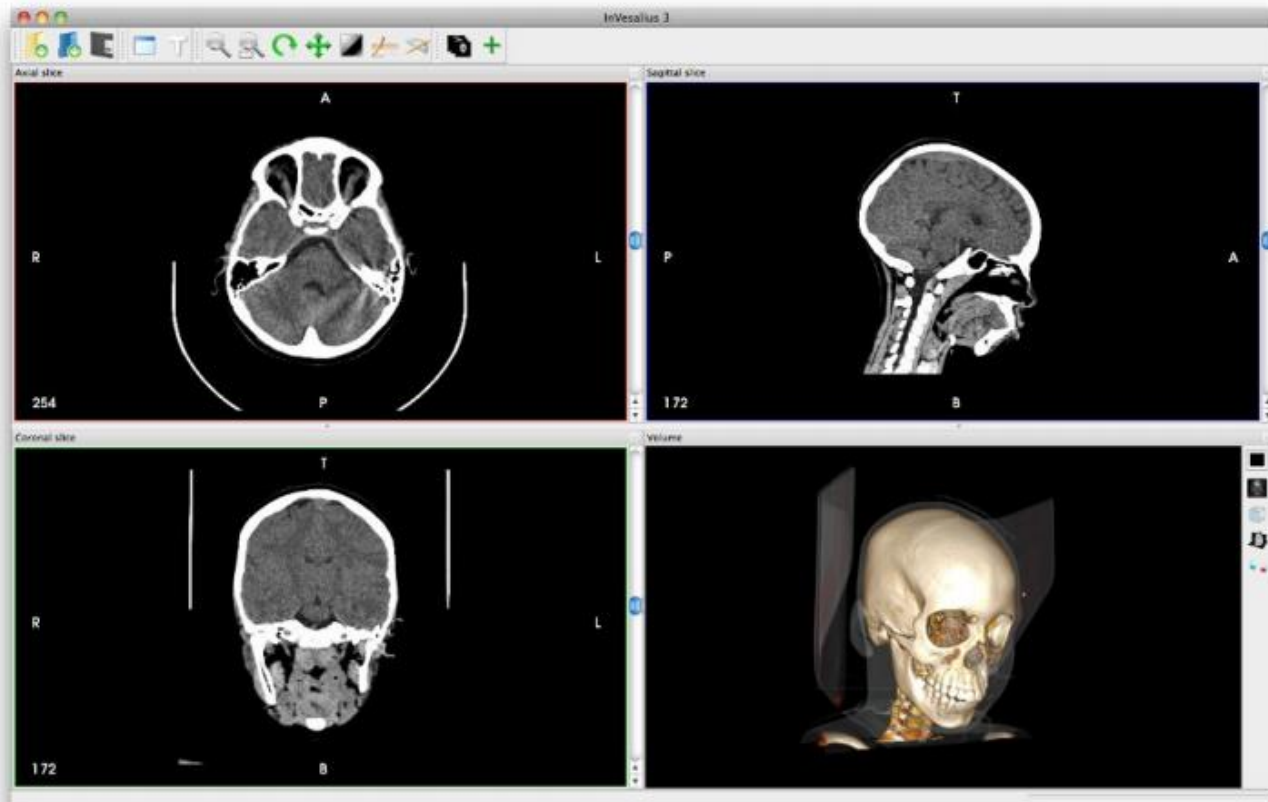
Jogos

Jogos

- **Borderlands Psycho:**
- Usa centenas de milhares de partículas para tornar as explosões mais impressionantes e mais próximas da realidade.

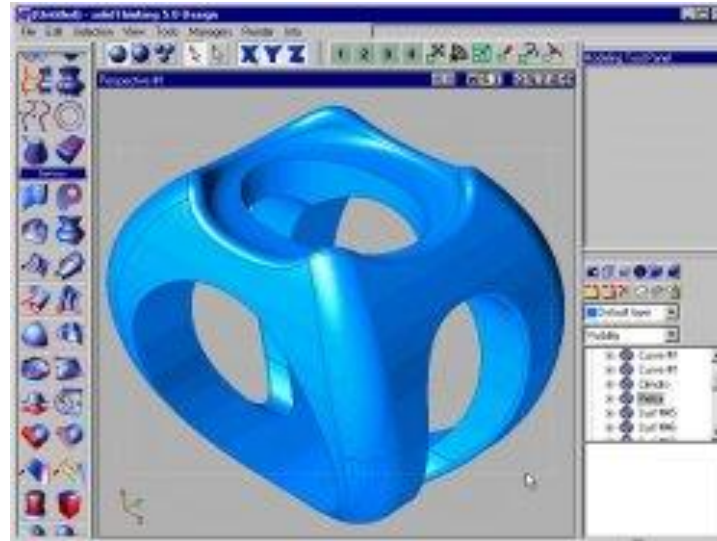
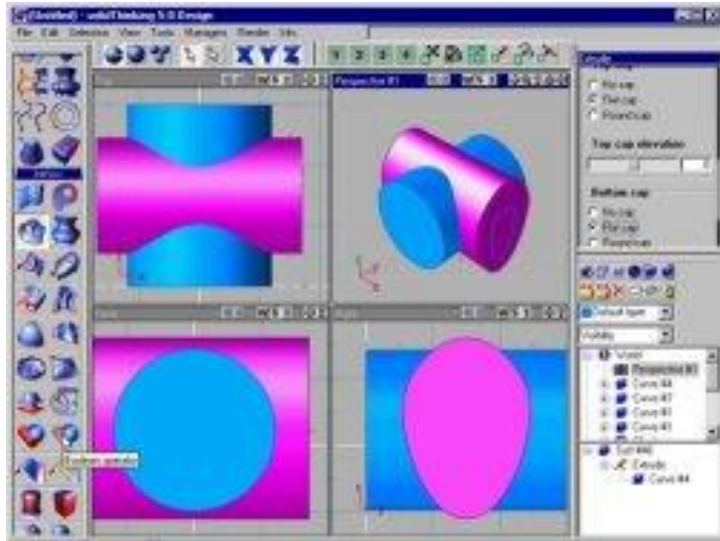


Software Específicos - Medicina



- O software InVesalius permite o uso da imagem de ressonância magnética ou de tomografia computadorizada para recriar uma cópia em tamanho natural impressa em 3D em gesso, cerâmica, plástico e metal.

<http://www.cti.gov.br/invesalius>

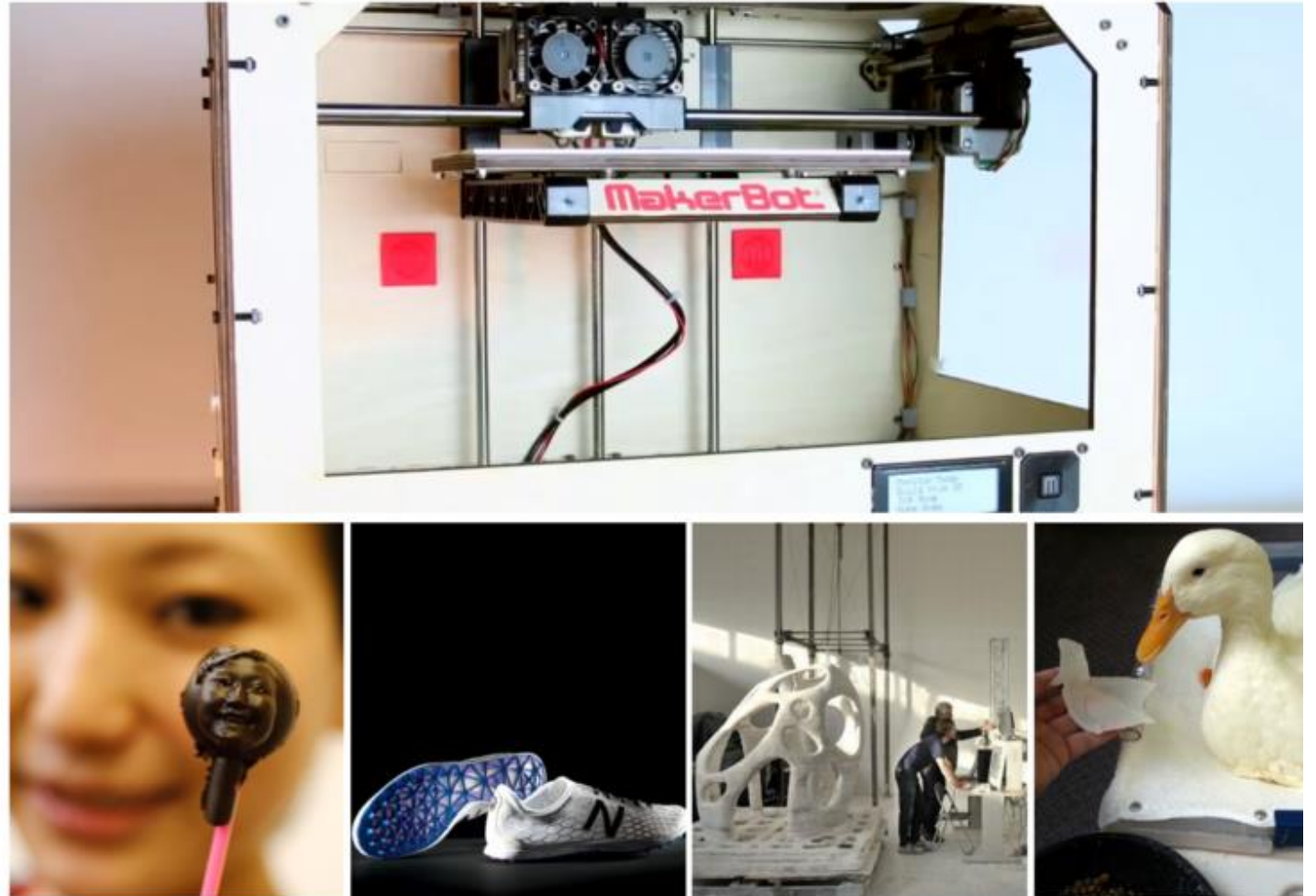


Computer Aided Design (CAD)

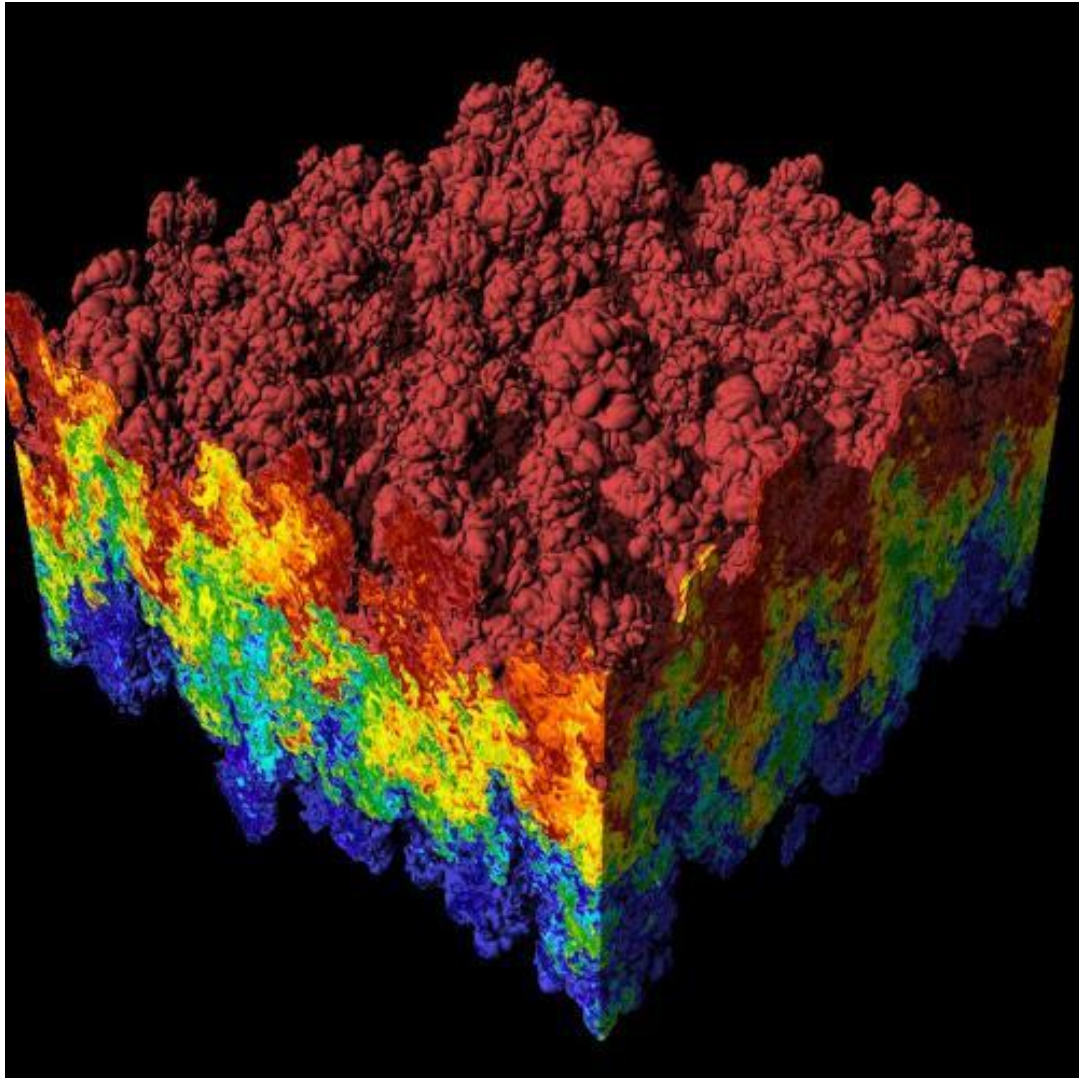
Impressora 3D

- Modelos tridimensionais agora podem ser impressos por meio de impressoras tridimensionais de baixo custo.

Visual technology: 3D fabrication



Fonte: CMU 15-462/66



Visualização Científica

- Visualização científica de uma simulação da [instabilidade de Rayleigh–Taylor](https://en.wikipedia.org/wiki/Rayleigh-Taylor_instability) causada pela mistura de dois fluidos. (Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Scientific_visualization)

Interfaces Gráficas



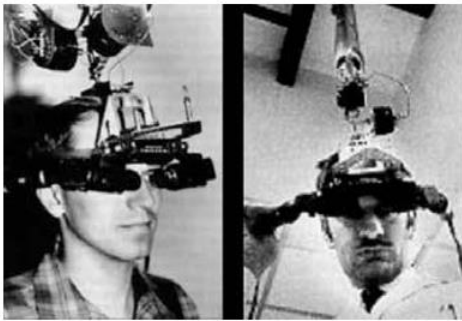
Ivan Sutherland,
Sketchpad, Light-pen,
vector display

Apple iPad



Console
Controller

- Interfaces gráficas para dispositivos com diferentes tamanhos de tela
- Adaptar a interface de um aplicativo a diferentes tamanhos de tela
- Apesar da telas touchscreen, os mecanismos básicos de interação com o computador ainda herdam muito dos modelos iniciais propostos por Sutherland.



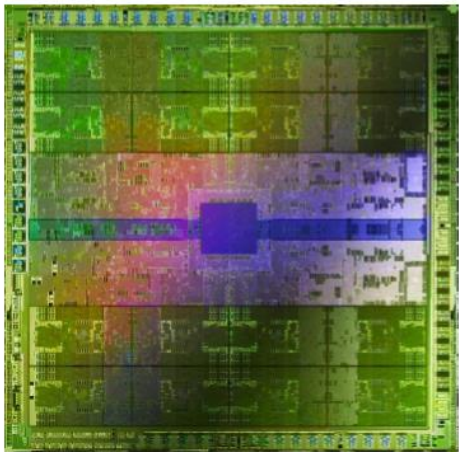
Ivan Sutherland: Head-mounted displays, with mechanical tracker



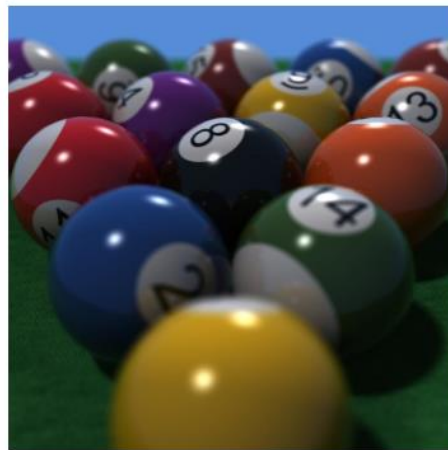
Oculus Rift

Realidade Virtual

- Interfaces imersivas
 - Entrada: 3D 6-DOF tracking, gloves
 - Output: Head-mounted and projection displays



NVIDIA Fermi

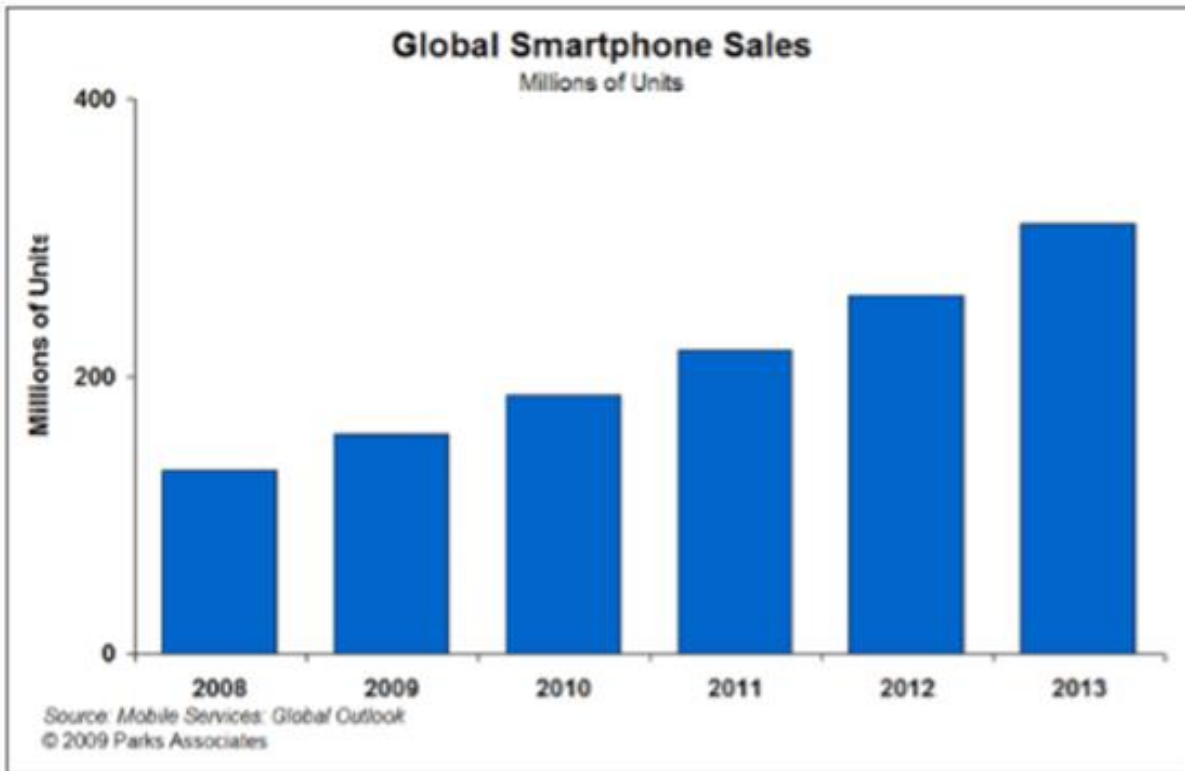


NVIDIA OptiX

Hardware Gráfico

- GPU – Processamento Gráfico, arquitetura paralela...
- GPU – Processamento Geral

Câmeras e Smartphones



- Venda de smartphones superou a venda de câmeras por um fator de 3.
- Mais de cinco bilhões de smartphones estão em uso atualmente.
- Um pouco menos que o tamanho da população mundial.

Computação Gráfica e Computação

- Ciência da Computação
 - Algoritmos
 - Estrutura de dados e linguagens de programação
 - Matemática discreta
- Aplicações
 - Inteligência Artificial
 - Computação Gráfica
 - ...

Visão Geral do Curso

- Utilizar o computador para programar aplicações capazes de visualização gráfica 2D e 3D.
- Manipulação de imagens digitais
- Fundamentação Teórica de Computação Gráfica
- Codificação: escreverá código e executará o programa para exibição de imagens geradas a partir de modelos pré-definidos.
- Utilizaremos WebGL para a visualização de modelos 3D criados em alguma ferramenta de modelagem.

Visão Geral do Curso

- Aulas
 - Para cada encontro:
 - Aula Teórica – Aula Prática (uso do laboratório)
 - Uso de recursos de multimídia (projektor), pincel e quadro branco
 - Avaliações:
 - Trabalhos individuais
 - 3 Avaliações Parciais

Visão Geral do Curso

- Trabalho:
 - Trabalho de implementação baseado em WebGL para carregar uma cena descrita por meio de algum formato de descrição de cenas 3D.
 - Entregas incrementais
 - De acordo com cada tópico ensinado.
- Avaliação:
 - Três avaliações parciais
 - Primeira Avaliação (AP1): prova escrita, combinando questões de múltipla escolha com questões discursivas e valerá de 0 a 10 pontos
 - Segunda Avaliação (AP2): as mesmas regras aplicadas na primeira avaliação
 - Terceira Avaliação (AP3): as mesmas regras aplicadas na primeira avaliação.
 - Trabalho final (TF): valerá entre 0 e 10 pontos.
 - Média:
$$\frac{AP1 + AP2 + \frac{1}{3}(AP3 + 2 \cdot TF)}{3}$$

Programa

- **UNIDADE I - INTRODUÇÃO À COMPUTAÇÃO GRÁFICA**

- 1.1 Introdução e Histórico
- 1.2 Conceitos
- 1.3 Sub-áreas
- 1.4 Periféricos gráficos de entrada/saída
- 1.5 Aplicações

- **UNIDADE II – BIBLIOTECA GRÁFICA **OPENGL** (WebGL)**

- 2.1 Inicialização
- 2.2 **Biblioteca GLUT (HTML5 e JavaScript)**
- 2.3 Definição de Entidades Gráficas
- 2.4 Uso de Transformações Geométricas
- 2.5 Uso de Cores
- 2.6 Funções **OpenGL (WebGL)** para Visualização

- **UNIDADE III – PROCESSAMENTO DE IMAGENS**

- 3.1 Introdução e exemplos de aplicações
- 3.2 Tipos de Imagens
- 3.3 Redução do Número de Cores
- 3.4 Técnicas de Impressão de Imagens: limiar, halftone, dither, difusão de erro

3.5 Filtros: anti-aliasing, detecção de bordas

- **UNIDADE IV – REPRESENTAÇÃO DE OBJETOS**

- 4.1 Sistemas de Coordenadas Cartesianas
- 4.2 Formas de Representação versus Técnicas de Modelagem
- 4.3 Estruturas de dados para objetos e cenas 2D
- 4.4 Volume e Boundary Representation
- 4.5 Técnicas de Representação e Modelagem 3D
 - 4.5.1 Wireframe
 - 4.5.2 Enumeração Espacial
 - 4.5.3 Malha de Polígonos
 - 4.5.4 Sweeping
 - 4.5.5 CSG
 - 4.5.6 Instanciamento de Primitivas

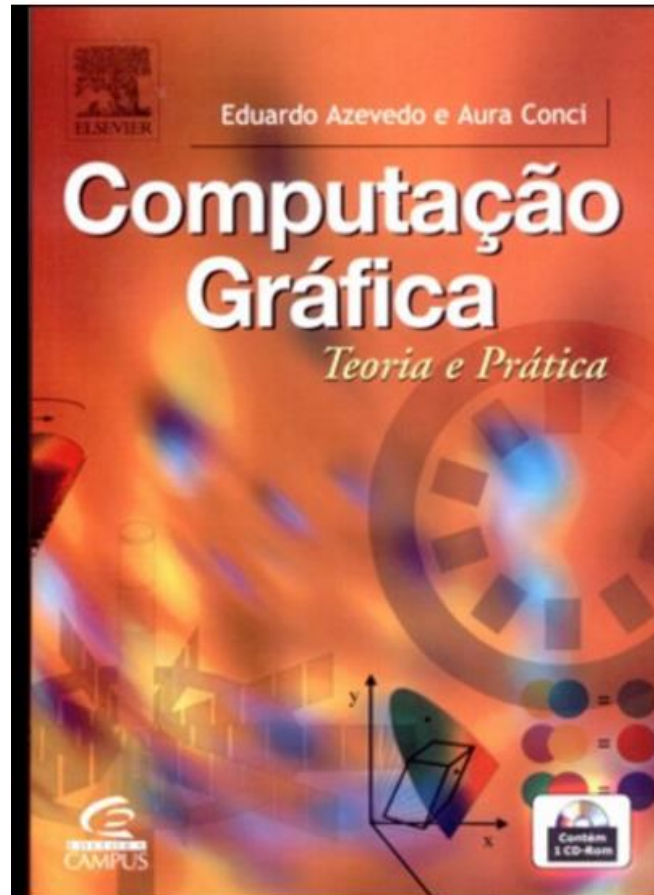
Programa

- **UNIDADE V – PROCESSO DE VISUALIZAÇÃO**
 - 5.1 Transformações Geométricas
 - 5.2 Instanciamento
 - 5.3 Conceito de Window e Viewport
 - 5.4 Conceito de Câmera Sintética
 - 5.5 Projeções
 - 5.6 Rasterização
- **UNIDADE VI – CURVAS E SUPERFÍCIES PARAMÉTRICAS**
 - 6.1 Representação de Curvas e Superfícies
 - 6.2 Curvas Paramétricas
 - 6.3 Superfícies Paramétricas
- **UNIDADE VII – ELIMINAÇÃO DE SUPERFÍCIES ESCONDIDAS**
 - 7.1 Eliminação de Faces Traseiras
 - 7.2 Algoritmo do Pintor
 - 7.3 Algoritmo Z-Buffer
 - 7.4 Árvores BSP
- **UNIDADE VIII – GERAÇÃO DE IMAGENS COM REALISMO**
 - 8.1 Modelos de Iluminação: luz pontual, direcional, spot
 - 8.2 Modelos de Reflexão: ambiente, difusa, especular
 - 8.3 Métodos de Tonalização: Flat, Gourand, Phong
 - 8.4 Conceitos Básicos de Ray-Tracing
- **UNIDADE IX – TÓPICOS DE COMPUTAÇÃO GRÁFICA**
 - 9.1 Animação
 - 9.2 Realidade Aumentada

Visão Geral do Curso

- Compartilhamento de informações por meio do grupo da disciplina
- Toda comunicação deve ser realizada por meio do sistema/portal da UVA.

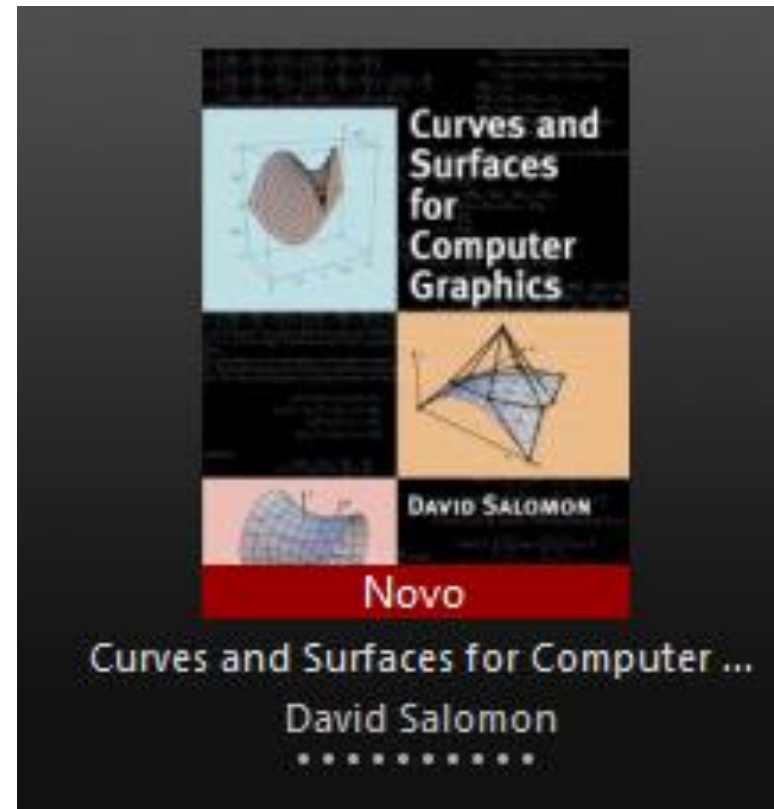
Livro Texto



Material Recomendado – Mídias Digitais

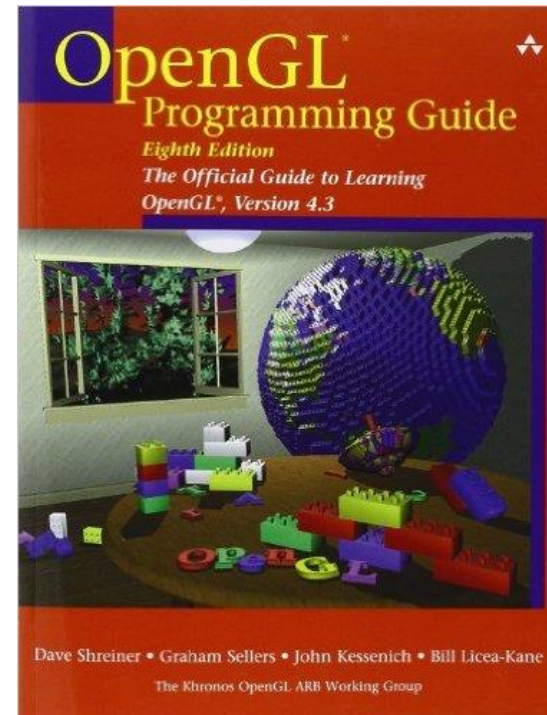
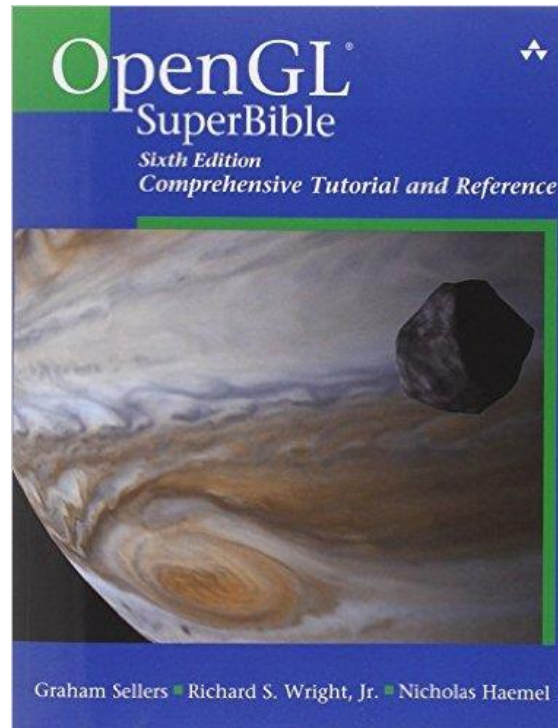
- **IMPA - Computação Gráfica: conceitos básicos (Vídeo-Aulas do Professor Paulo César Carvalho)**
 - https://www.youtube.com/playlist?list=PLYZlvxqPs9Q04bKBFTMF4Ld02BA81sX-H&feature=iv&src_vid=ZCClvnG3jYI&annotation_id=annotation_645068
 - <http://w3.impa.br/~pcezar/cursos/cg/>
- **Sítio da Professora Aura Conci (Universidade Federal Fluminense):**
 - <http://www2.ic.uff.br/~aconci/CG.html>
 - Slides, vídeos, códigos e outras referências
- **Cursos em Várias Universidades Internacionais**
 - <http://sites.fas.harvard.edu/~lib175/materials.html>
 - <http://web.stanford.edu/class/cs148/>
 - <http://inst.eecs.berkeley.edu/~cs184/fa12/onlinelectures.html>
 - <https://www.student.cs.uwaterloo.ca/~cs488/notes.pdf>

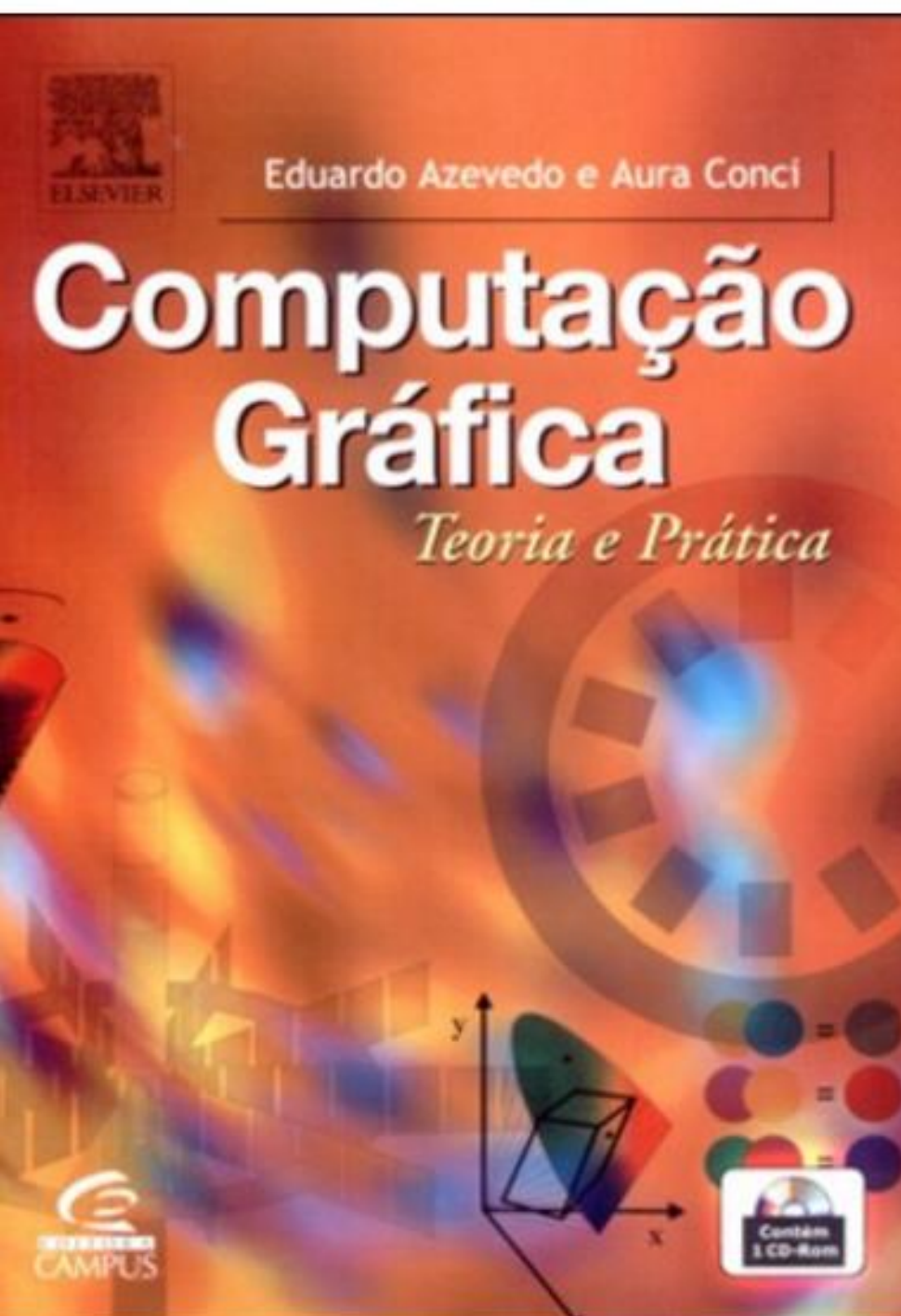
Livros Técnicos Complementares



Material Técnico Complementar

- **OpenGL API Documentation Overview, URL:**
<https://www.opengl.org/documentation/>





Atividade

- Leia o primeiro capítulo texto adotado
 - Procure a errata do livro na internet e fique por dentro dos erros conhecidos presentes no livro
 - O livro é de 2003, contudo, estamos em 2017. Portanto, muita coisa mudou desde a publicação do livro. Aponte, no primeiro capítulo do livro, ideias ou conceitos que podem ser considerados ultrapassados. Explique cada caso.

Obrigado!

Próxima Aula: Imagens e Dispositivos Gráficos