

Tópicos Especiais em Animação de Fluidos e Visualização Científica (GB 500)

Gilson Antonio Giraldi - gilson@lncc.br

Laboratório Nacional de Computação Científica-LNCC/MCTI

Mar 13th, 2019



Tópicos do Curso

- 1 Introdução
- 2 Visualização Científica versus Animação de Fluidos
- 3 Aplicações
- 4 Fluxo de Dados
 - 1 Modelo da Cena
 - 2 Simulação de Fluidos
 - 3 Técnicas de Rendering
- 5 Representação de dados
 - 1 Representação Baseada em Malhas
 - 2 Representação Baseada em Pontos
- 6 Técnicas em Visualização Científica
 - 1 Visualização de Campos Escalares
 - 1 Extração de superfícies
 - 2 Volume Rendering
 - 2 Visualização de Campos Vetoriais e Tensoriais
 - 1 Linhas de Campo
 - 2 Topologias de Campo

7 Rendering foto-realista de fluidos

8 Animação Computacional de Fluidos

1 Modelagem do Ambiente (Cena)

2 Simulação de Fluidos via Equações de Navier-Stokes e SPH

3 Simulação de Fluidos via Método de Lattice Boltzmann

9 Avaliação

(LNCC)

Objetivo e Motivação

Visualização de dados científicos e geração de efeitos visuais via para animação de fluidos.

Motivação: Onde queremos chegar?

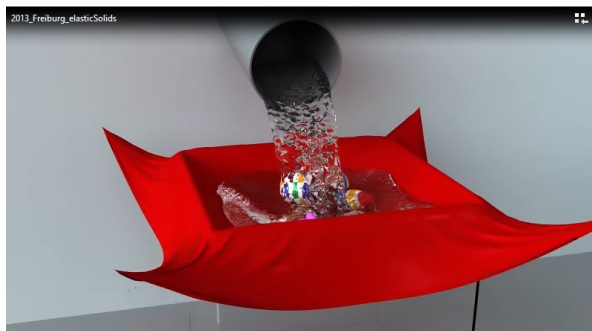


Figura: Gerada na Universidade de Freiburg. Ver Video01.

Motivação: Onde estamos?

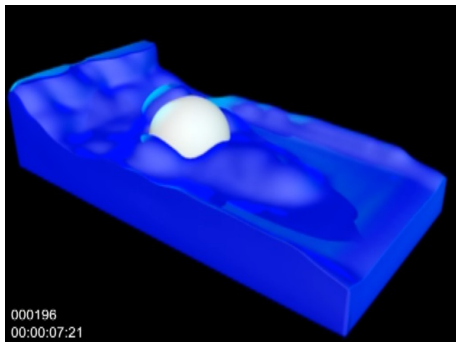


Figura: Web site: <http://visfluid.lncc.br/videos.html>. Ver Video02.

Aplicações: Análise e dados científicos, efeitos visuais para cinema, televisão, indústria de jogos eletrônicos, visualização científica e simuladores [Siggraph, 2015, Pixar, 2016]

Aplicações: Visualização Científica em Medicina

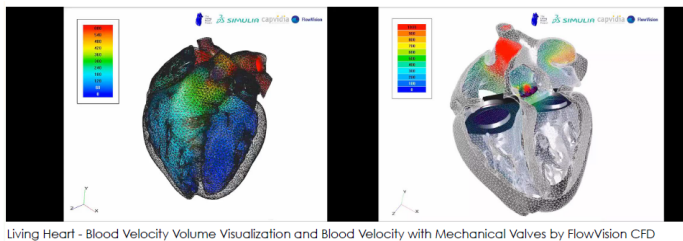


Figura: Animação de campos escalares/vetoriais em hemodinâmica computacional. Ver Video03.

Aplicações: Visualização Científica em Medicina

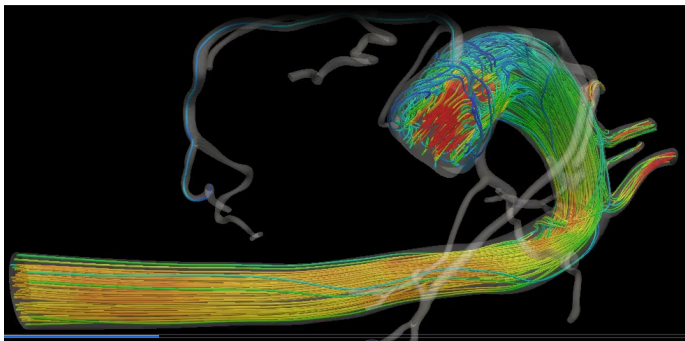


Figura: Animação de campos escalares/vetoriais em hemodinâmica para simuladores.

Aplicações: Visualização Científica em Engenharia

- Engenharia



Computational Fluid Dynamics (CFD) lets engineers understand how fluids flow and interact with their surroundings.

Visualization Comparing Turbulent Vortex Shedding Between a Sphere and Golf Ball by BATTELLE CFD

Figura: Animação de campos escalares/vetoriais em engenharia.

Aplicações: Efeitos visuais para Propagandas

- Comerciais



This is Fluid Viewing™ advertisement by Sky Q

Figura: Geração de efeitos visuais, via animação de fluidos, para propagandas e Cinema.

Aplicações: Efeitos visuais para Jogos

- Jogos



water physics in games 4 by cr4zyw3ld3r

Figura: Geração de efeitos visuais, para jogos via animação de fluidos.

Animação: Conferencias, Web Sites e Livros

- Siggraph 2016 [ACM, 2016]
- Sibgrapi 2016 [SBC, 2016]
- Pixar [Pixar, 2016]
- ACM Trans. on Graphics [Siggraph, 2015]
 - Livros:
 - The Art of Fluid Animation [Stam, 2015]
 - Fluid simulation for computer graphics [Bridson, 2008]
 - Fluid Frames: Experimental Animation with Sand, Clay, Paint, and Pixels [Parks, 2015]
 - Foundations of Physically Based Modeling and Animation [House and Keyser, 2016]
 - Physics-based Animation [Erleben et al., 2005]
 - Physically Based Rendering: From Theory To Implementation [Pharr and Humphreys, 2010]

Animação: Softwares e Bibliotecas

- RenderMan [Pixar, 2017]
- POV-Ray [POV-Ray, 2017]
- Physics for Rendering [PBRT, 2016]
- Blender [Fundation, 2017, Motion, 2015]
- RealFlow [Limit, 2016]



Figura: Pixar's PhotoRealistic RenderMan and 'Finding Nemo'.

(LNCC)

Animação de Fluídos

Fluxo de Dados em Animação de Fluídos

- Modelo Geométrico da Cena
- Modelo Físico de Fluidos
 - Equações de Navier-Stokes e Diferenças/Elementos Finitos
 - Método *Lattice-Boltzmann* (LBM)
 - Método *Smoothed Particle Hydrodynamics* (SPH)
 - Outros.
- Modelos de iluminação (rendering)

Modelagem da Cena

Representação da geometria dos objetos

- Malhas poligonais e subdivisão espacial

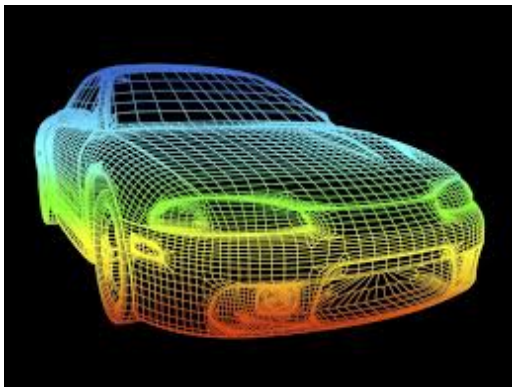


Figura: From <https://www.lifewire.com/>

Representação da geometria dos objetos

- Nuvens de Pontos

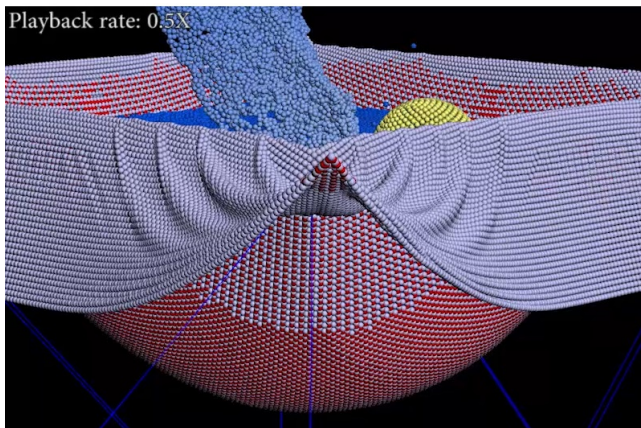


Figura: From Freiburg University. Ver Video01.

Representação da geometria dos objetos

- Superfícies NURBS



Figura: From <https://www.behance.net/>.

Modelos Físicos e Simulação de Fluidos

- Definição de domínio
- Interação com fronteira do dominio
- Interação com objetos da cena
- Modelo de fluido
- Inicialização do fluido
- Simulação do sistema
- Resultado: Campos escalares e/ou vetoriais



Figura: <https://youtu.be/6hiyYoKSXQ0>. Ver Video04.

Convertendo dados em Imagens

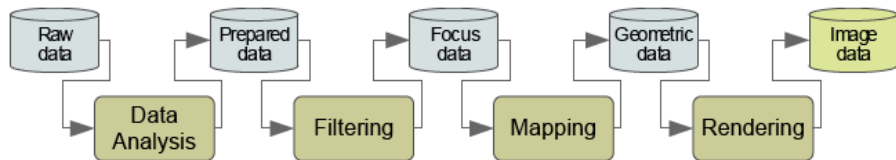


Figura: Pipeline genérico para geração de imagens a partir de dados numéricos.

Breve Histórico

- Um trabalho pioneiro na área de animação de fluidos via DFC foi o de Foster-Metaxas (1997), usando diferenças finitas.
- Em 1999 Jos Stam propõe uma solução para o custo computacional elevado do método de Foster e Metaxas
- Patrick Witting considerou um modelo mais completo que os anteriores, onde o fluido (gás) é compressível e o modelo matemático envolve equações termodinâmicas.
- Trabalho de Müller et al. (2003) que usou o SPH com métodos com interação entre líquidos e sólidos.
- LBM para simulação de sistemas complexos [Chopard et al., 1998]

Animação de Fluidos Baseada em Física

- Consiste em aplicar técnicas de dinâmica de fluidos computacional (DFC) computação gráfica na geração de efeitos visuais.
- O nível de realismo depende do tipo de animação.
- Área interdisciplinar.
- Envolve conceitos em Dinâmica de Fluidos, Rendering e Modelagem Geométrica.
- Desenvolvimento de aplicativos com interfaces gráficas convenientes, permitindo o uso dos recursos desenvolvidos por animadores e *designers*.
- Aplicações para simuladores em medicina

Campos Escalares

$$s = f(x, y, z); \quad x, y, z \in \mathbb{R}$$

- Volume discretizado
 - voxels
- Amostragem
- Reconstrução

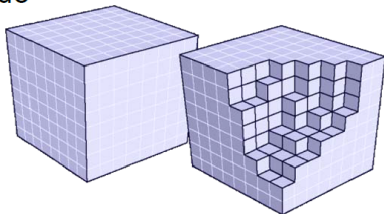


Figura: Conceitos fundamentais em campos escalares.

Campos Vetoriais

- Campo Vetorial

$$X: I \times \Delta \rightarrow \mathbb{R}^3$$

- Caso Estacionário

$$X: \Delta \rightarrow \mathbb{R}^3$$

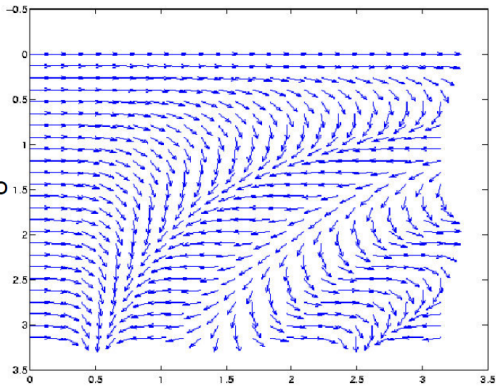
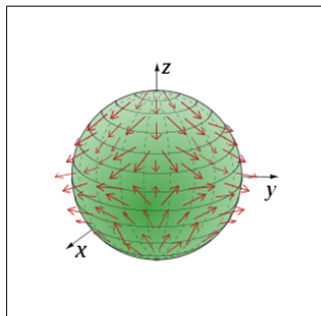


Figura: Conceitos fundamentais em campos vetoriais.

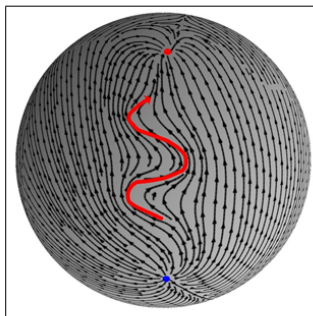
Visualização de Campos Vetoriais

Vector Field



en.wikipedia.org/wiki/Vector_field

Integral Lines



graphics.stanford.edu/wikis/cs348b-08/fisherfinal

Figura: Visualização de campos vetoriais [Rosenblum et al., 1994].

Equações da Dinâmica de Fluidos

Equações de Navier-Stokes: Caso Escoamento incompressível:

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \mathbf{u} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \Delta \mathbf{u} + \mathbf{f} \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \quad (2)$$

Onde:

- $-\nabla p$ é o fluxo oriundo de regiões de alta pressão em direção à região de baixa pressão.
- $\nu \Delta \mathbf{u}$ é um termo dissipativo, com $\nu = \mu/\rho$ sendo a viscosidade cinemática.

Equações da Dinâmica de Fluidos

Condições Iniciais e de contorno

$$\mathbf{v}(x, y, z, 0) = \mathbf{v}_0(x, y, z), \quad (3)$$

$$\mathbf{v}_{\partial\Omega} = g, \quad (4)$$

onde $\partial\Omega$ denota a fronteira do domínio Ω do fluido e g é uma função definida em $\partial\Omega$.

Equações de Navier-Stokes (Formulação Lagrangiana)

Equação da Continuidade

$$\frac{D\rho}{Dt} + \rho \nabla \cdot \mathbf{v} = 0 \quad (5)$$

Equação do Momento

$$\frac{D\mathbf{v}}{Dt} = -\frac{1}{\rho}(\nabla p + \mu \Delta \mathbf{v} + \mathbf{F}), \quad (6)$$

onde $\frac{D(\cdot)}{Dt}$ é chamado derivada material.

Para fluidos incompressíveis, temos $\nabla \cdot \mathbf{v} = 0$

Metodologia de Trabalho

- Cada aluno define um projeto de trabalho
 - Implementação do método proposto
 - Geração de resultados
 - Elaboração de texto científico em formato de artigo
- Apresentação de seminarios
 - Seminário sobre o projetp
 - Seminários de acompanhamento

Avaliação Discente

- Duas Provas (P1 e P2): Notas de 0.0 a 10.0

0.0 – 2.9 (E)

7.0 – 8.9 (B)






3.0 – 4.9 (D)

5.0 – 6.9 (C)

9.0 – 10.0 (A)

- Listas para casa e listas para a sala
- Média dos trabalhos (Listas, implementações, Seminários): MT
- Média Final = MT

Figura: Faixas das notas e respectivos conceitos.

-  ACM (2016).
Siggraph.
<http://s2016.siggraph.org/programs>.
-  Bridson, R. (2008).
Fluid simulation for computer graphics.
CRC Press, New York.
-  Chopard, B., Luthi, P., and Masselot, A. (1998).
Cellular automata and lattice boltzmann techniques: An approach to
model and simulate complex systems.
In *Advances in Physics*.
-  Erleben, K., Sporring, J., Henriksen, K., and Dohlman, K. (2005).
Physics-based Animation (Graphics Series).
Charles River Media, Inc., Rockland, MA, USA.
-  Foundation, B. (2017).
Blender: Free and Open Software.
<https://www.blender.org/>.

-  House, D. and Keyser, J. (2016).
Foundations of Physically Based Modeling and Animation.
CRC Press.
-  Limit, N. (2016).
RealFlow.
<http://www.realflow.com/>.
-  Motion, M. (2015).
Most Realistic Fluid Settings in Blender.
https://www.youtube.com/watch?v=m-kDn3ODtZM&list=PLE_CMDJXhPQ5tuhHNVTsMXOq9VmkctM8r.
-  Parks, C. (2015).
Fluid Frames: Experimental Animation with Sand, Clay, Paint, and Pixels.
Taylor & Francis.
-  PBRT (2016).
Physics Models for Rendering.

<http://www.pbrt.org/>.



Pharr, M. and Humphreys, G. (2010).

Physically Based Rendering, Second Edition: From Theory To Implementation.

Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA, 2nd edition.



Pixar (2016).

Pixar On-Line Library.

<http://graphics.pixar.com/library/>.



Pixar (2017).

RenderMan.





<https://rmanwiki.pixar.com/display/REN/RenderMan>.



POV-Ray (2017).

Persistence of Vision Raytracer.

<http://www.povray.org/>.

-  Rosenblum, L., Earnshaw, R., Encarnacao, J., Hagen, H., Kaufman, A., Klimenko, S., Nielson, G., Post, F., and Thalmann, D. (1994). *Scientific Visualization: Advances and Challenges*. Academic Press.
-  SBC (2016). *Sibgrapi 2016*. <http://gibis.unifesp.br/sibgrapi16/>.
-  Siggraph (2015). *ACM Trans. Graph.*, 34(4).
-  Stam, J. (2015). *The Art of Fluid Animation*. CRC Press.