

---

Animação de fluidos em imagens digitais

*Marcos Aurélio Batista*

---

SERVIÇO DE PÓS-GRADUAÇÃO DO ICMC-USP

Data de Depósito:

Assinatura:

## Animação de fluidos em imagens digitais

**Marcos Aurélio Batista**

***Orientador: Prof. Dr. Luis Gustavo Nonato***

Tese apresentada ao Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação - ICMC-USP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências - Ciências de Computação e Matemática Computacional. *VERSÃO REVISADA*

**USP – São Carlos**  
**Outubro de 2011**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Achille Bassi  
e Seção Técnica de Informática, ICMC/USP,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

B328a Batista, Marcos Aurélio  
Animação de fluidos em imagens digitais / Marcos  
Aurélio Batista; orientador Luis Gustavo Nonato --  
São Carlos, 2011.  
111 p.

Tese (Doutorado - Programa de Pós-Graduação em  
Ciências de Computação e Matemática Computacional) --  
Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação,  
Universidade de São Paulo, 2011.

1. Animação de Fluidos. 2. Águas Rasas. 3. Imagens  
Digitais. I. Nonato, Luis Gustavo, orient. II. Título.

# Resumo

Esta tese apresenta uma nova metodologia para animação de objetos líquidos em imagens. Contrariamente às técnicas existentes, este método é baseado em um modelo físico, o que proporciona efeitos realísticos. A perspectiva da imagem é obtida com a intervenção do usuário, por um esquema simples de calibração da câmera, o qual permite a projeção da camada da imagem a ser animada sobre um plano horizontal no espaço tridimensional. As equações de águas rasas conduzem a simulação e as informações de altura são projetadas de volta ao espaço da imagem utilizando traçado de raios. Além disso, efeitos de refração e iluminação são aplicados durante este estágio, resultando em animações realísticas e convincentes.

## **Palavras-chave:**

ANIMAÇÃO DE FLUIDOS · ÁGUAS RASAS · IMAGENS DIGITAIS

# Abstract

This work presents a new methodology for animating liquid objects depicted in a still image. In contrast to existing techniques, the proposed method relies on a physical model to accomplish the animation, resulting in realistic effects. Image perspective is handled through a simple user assisted camera calibration scheme which allows one to project the image layers to be animated onto the horizontal plane in the three-dimensional space. Shallow-Water equations drive the simulation and the resulting height field is projected back to the image space via ray-tracing. Refraction and lighting effects are also accomplished during the ray-tracing stage, resulting in realistic and convincing animations.

**Keywords:**

FLUID ANIMATION · SHALLOW WATER · STILL IMAGE

# Sumário

<b>Resumo</b>	<b>v</b>
<b>Abstract</b>	<b>vi</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
<b>2 Trabalhos correlatos</b>	<b>4</b>
2.1 Espaço da imagem . . . . .	5
2.2 Técnicas baseadas em vídeo . . . . .	9
2.3 Auxílio tridimensional . . . . .	11
2.4 Animando fluidos em imagens . . . . .	13
2.5 Animação baseada em águas rasas . . . . .	17
<b>3 Abordagem proposta</b>	<b>21</b>
<b>4 Inferência tridimensional</b>	<b>26</b>
4.1 Linha do horizonte . . . . .	27
4.2 Distância focal . . . . .	30
4.3 Calibração da câmera . . . . .	31
4.4 Projeção inversa do corpo d'água . . . . .	36
4.5 Determinando o domínio de simulação . . . . .	37

<b>5</b>	<b>Construção do domínio de simulação</b>	<b>39</b>
<b>6</b>	<b>Simulação física</b>	<b>44</b>
6.1	Resolução numérica . . . . .	45
6.2	Considerações sobre os arquivos de entrada . . . . .	52
<b>7</b>	<b>Projeção reversa e renderização</b>	<b>57</b>
<b>8</b>	<b>Resultados obtidos</b>	<b>61</b>
8.1	Rio em movimento . . . . .	63
8.2	Animação de fluxo em uma represa . . . . .	65
8.3	Vulcão . . . . .	66
8.4	Chuvas . . . . .	67
8.5	Balanço natural . . . . .	68
8.6	Transporte de textura . . . . .	70
8.7	Efeito Coriolis . . . . .	71
8.8	Inserção de objetos . . . . .	75
8.9	Comparações . . . . .	81
<b>9</b>	<b>Conclusão</b>	<b>83</b>
	Trabalhos Futuros . . . . .	83
<b>A</b>	<b>Águas rasas</b>	<b>85</b>
A.1	Características físicas das águas rasas . . . . .	85
A.2	Equações de Navier-Stokes . . . . .	86
A.3	Equacionamento do movimento das águas rasas . . . . .	89
A.4	As equações de águas rasas . . . . .	96
	<b>Referências bibliográficas</b>	<b>97</b>

# Capítulo 1

## Introdução

A manipulação de fotografias e pinturas tem sido objeto de grande interesse em computação gráfica [Freeman, Adelson & Heeger 1991, Litwinowicz & Williams 1994], estimulando uma grande quantidade de métodos para edição [Barrett & Cheney 2002, Igarashi, Moscovich & Hughes 2005], animação [Hornung, Dekkers & Kobbelt 2007, Xu, Wan, Liu, Wong, Wang & Leung 2008] e criação de efeitos atraentes [Chu, Hsu, Mitra, Cohen-Or, Wong & Lee 2010, Shesh, Criminisi, Rother & Smyth 2009] a partir de imagens. Entretanto, a animação realística de fenômenos naturais em imagens permanece um desafio. As poucas técnicas existentes são muito complexas, exigindo uma intensa e especializada intervenção do usuário [Okabe, Anjyo, Igarashi & Seidel 2009], ou simula apenas fenômenos suaves, como o efeito de um vento brando em um lago [Chuang, Goldman, Zheng, Curless, Salesin & Szeliski 2005]. Além disso, a maioria destas técnicas apoia-se em síntese de texturas para simular fenômenos naturais, produzindo animações nem sempre realísticas.

Uma das principais dificuldades dos métodos de animação de fenômenos naturais em imagens, que utilizam modelos físicos, é a carência de informa-



ções sobre a estrutura tridimensional da cena. Sem as informações tridimensionais dificilmente conseguiríamos simular ondas e o movimento de objetos em harmonia com a cena retratada na imagem, resultando em efeitos não convincentes.

Nesta tese, tratamos as dificuldades mencionadas com uma nova técnica para animação de líquidos em imagens, a qual se baseia em modelos físicos. A falta de informações tridimensionais é resolvida com um esquema simples de calibração da câmera, o que permite o posicionamento, no espaço tridimensional, do domínio de simulação. A técnica de traçado de raios é empregada para projetar o resultado da simulação de volta ao espaço da imagem. Além de fornecer um bom casamento entre a propagação da onda e a perspectiva da cena, o mecanismo permite, naturalmente, recursos adicionais de renderização, como refração e iluminação, os quais são explorados para intensificar o realismo e introduzir novos elementos à cena.

Nós utilizamos como modelo físico, no processo de animação, as equações de águas rasas. Além de permitir animações realísticas, o modelo de águas rasas fornece um conjunto de parâmetros que podem servir para modular efeitos específicos no fluido. Ademais, utilizamos camadas da imagem como um mecanismo para definir os parâmetros envolvidos na simulação, permitindo mudanças no comportamento do fluido e criando efeitos interessantes.

## Contribuições

As principais contribuições deste trabalho podem ser resumidos em:

- **Inferência tridimensional:** um esquema simples de calibração de câmera, conduzido pelo usuário, é empregado para inferir o domínio tridimensional onde ocorrerá a simulação física.

- **Animação fisicamente baseada:** em contraste às técnicas de animação em imagens, nossa abordagem apoia-se fortemente em um modelo físico (águas rasas) para gerar os efeitos de movimento, resultando em animações realísticas.
- **Projeção reversa via traçado de raios:** o traçado de raios é utilizado para projetar o resultado da simulação de volta ao espaço da imagem, preservando a perspectiva da cena enquanto efeitos adicionais são aplicados, tais como refração e iluminação. Até onde sabemos, esta é a primeira vez que o traçado de raios é utilizado em animação de imagens em conjunto com simulações físicas.

Para apresentar esta proposta ao leitor fazemos, no segundo capítulo, uma breve análise dos trabalhos correlatos. Nos capítulos seguintes apresentamos nossa proposta e em seguida uma amostra dos resultados obtidos. Fechamos com um capítulo de conclusão, onde apresentamos algumas propostas de trabalhos futuros.

Esta tese não tem a pretensão de ser um tratado sobre o movimento de fluidos e nem mesmo do movimento de águas rasas. Os rigores matemáticos e físicos de um tratado desta natureza podem ser encontrados em [Kinnmark 1984, Weiyan 1992, Galdi 1998*a*, Galdi 1998*b*]. Para manter o texto completo, porém, fornecemos detalhes do modelo de águas rasas, bem como a estratégia de discretização adotada.

## Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

