



# Simulação de fluidos com Blender para ilustração científica

## Fluid simulation with Blender for scientific illustration

TIAGO DE SOUSA ARAÚJO CASSIANO\*<sup>1</sup>, HENRIQUE ALVES DE LIMA<sup>†1</sup>,  
ALEXANDRE ADRIANO NEVES DE PAULA<sup>1</sup>, LEONARDO LUIZ E CASTRO<sup>‡1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Física & Programa A3M (CEAD/DEG), Universidade de Brasília.

---

### Resumo

*Professores e estudantes de Física raramente têm acesso aos serviços de um ilustrador profissional, de modo que, quando querem escrever textos didáticos, têm que criar suas próprias ilustrações. Um grande desafio que encontram é representar fluidos de forma convincente, devido à complexidade dos fenômenos ópticos e reológicos que afetam a imagem de um fluido. Blender é um programa de computador voltado à computação gráfica que inclui uma ferramenta de simulação que permite representações realísticas de fluidos em movimento. O usuário tem a opção de selecionar atributos como viscosidade, transparência e cor, além de definir obstáculos sólidos ao escoamento do fluido. Como modelo de simulação do escoamento, é possível optar entre um fluido contínuo e um fluido representado por partículas. Mostramos aqui alguns resultados obtidos pelos participantes do projeto “Simulação de fluidos com programa Blender”, parte do Programa A3M (CEAD&DEC-UnB). Essas imagens apresentam os principais aspectos da simulação e ilustração de fluidos no Blender, ilustrados por meio de imagens produzidas no próprio programa por nossa equipe. Oferecemos assim uma opção de programa ao qual professores e estudantes possam se dedicar para aperfeiçoar a ilustração de fluidos em seus trabalhos didáticos e científicos.*

**Palavras-chave:** Física. Ilustração científica. Computação gráfica, Blender.

---

\*Tiago de Sousa Araújo Cassiano participou deste trabalho enquanto bolsista do Programa A3M (CEAD/DEG).

<sup>†</sup>Henrique Alves de Lima participou deste trabalho enquanto bolsista do Programa A3M (CEAD/DEG).

<sup>‡</sup>Autor correspondente – llcastro@unb.br.

---

### Abstract

*Physics teachers and students rarely have access to the services of a professional illustrator, so when they want to write didactic texts, they have to create their own illustrations. Representing fluids convincingly is a major challenge because of the complexity of the optical and rheological phenomena that affect the image of a fluid. Blender is a computer program with a simulation tool that allows realistic representations of fluids. The user has the option to set values of attributes such as viscosity, transparency and color, as well as defining solid obstacles to the fluid flow. As a simulation model, it is possible to choose between a continuous fluid and a fluid represented by particles. Here, we show some results created by the participants of "Fluid simulation with Blender", a project of the A3M Program (CEAD & DEC-UnB). These images present the main aspects of the simulation and illustration of fluids in Blender, illustrated through images produced in the program itself by our team. Thus, we offer an option of software to which teachers and students can devote themselves in order to improve the illustration of fluids in their teaching material and scientific texts.*

**Keywords:** *Physics, Scientific illustration, Computer graphics, Blender.*

---

## I. INTRODUÇÃO

Figuras são elementos essenciais do ensino de física. Seja para explicitar algum detalhe, ou auxiliar na visão geral de um problema, este recurso é utilizado desde os primórdios da física (NEWTON, 1833). Quanto mais elaborado o sistema, mais difícil se torna ilustrá-lo. Desta forma, educadores, professores e autores de livros estão constantemente em busca de novas estratégias e representações, afim de melhorar suas figuras. Na física, os conteúdos produzidos para fluidos clássicos sofrem especialmente desta dificuldade. Em quase toda sua essência, a teoria de fluidos clássicos lida com sistemas complexos onde há pouca margem de simplificação (ACHESON, 1991). Por isso, ilustrações manuais ou esboços tendem a reproduzir de forma insatisfatória até os fenômenos mais simples. Com a popularização da computação gráfica, este cenário tende a mudar. A possibilidade de modelar sistemas tri-dimensionais torna esta ferramenta especialmente eficaz na ilustração de fluidos clássicos. Por meio dela, é possível gerar ilustrações, animações ou recursos interativos sem perda de generalidade, mantendo a consistência física da fenomenologia. Espera-se que materiais didáticos produzidos via softwares de computação gráfica sejam mais efetivos na exposição de tópicos em ensino de física.

Desde 2017, o programa de aprendizagem para o terceiro milênio (A3M)(CASTRO, 2018) fomenta iniciativas que promovem a inserção de recursos tecnológicos na educação. Sob este contexto, o projeto "Simulação de Fluidos com Blender" foi desenvolvido em conjunto com o programa. A iniciativa foi concebida como uma forma de aprofundamento no uso de recursos de computação gráfica em um esforço para modernizar os recursos didáticos em ensino. O foco específico em fluidos é devido à especial dificuldade em representá-los graficamente. Além disso, um projeto de ilustração de fluidos tende a ser mais abrangente, por inevitável representar também recipientes e obstáculos sólidos.

O *software open source* Blender foi escolhido como o programa de computação gráfica a ser utilizado. Ele é amplamente utilizado pela comunidade, tendo uma extensa lista de aplicações de sucesso (NASA, ; DESCONHECIDO, ). Consequentemente, existe muito conteúdo dedicado ao desenvolvimento nesta plataforma, auxiliando novos usuários.

Neste trabalho iremos mostrar algumas das simulações desenvolvidas ao longo do projeto. No decorrer do texto, uma breve contextualização sobre cada fenômeno simulado será apresentada. Devido às limitações inerentes do formato de artigo, alguns recursos elaborados não serão apresentados na sua forma final. Por isso, convidamos o leitor interessado a acessar nossa página (GRA.FIS, 2019) para uma melhor apreciação.

## II. RESULTADOS

Concentramos o trabalho na produção de três classes de materiais didáticos: figuras, animações e infográficos. As figuras procuram ilustrar, aparatos ou fenômenos usualmente abordados em disciplinas que envolvem fluidos clássicos. Por outro lado, as animações tem um objetivo maior. Fenômenos que envolvem a evolução temporal de um sistema (não estáticos) geralmente são mal representados no formato de figuras. A animação tem por sua vez o propósito de auxiliar o entendimento do funcionamento de processos complexos que evoluem no tempo. Os dois recursos (figuras e animações) apesar de serem alternativas inovadoras na apresentação de tópicos da física dos fluidos clássicos, tratam-se de ferramentas avulsas. Para um uso eficiente destas técnicas, é necessário inseri-las em um contexto. Os infográficos são utilizados para esta finalidade. Ao reunir os materiais didáticos nesta estrutura, esperamos tornar a apresentação dos tópicos mais fluída.

### I. Imagens

Os primeiros resultados bem sucedidos de simulações foram obtidos na forma de imagens. Procuramos reproduzir princípios e fenômenos simples. Desta forma, ao final do processo, os integrantes estariam mais familiarizados com a ferramenta. Por questões de espaço, iremos exibir apenas uma parte das figuras.

#### I.1 Hidrelétrica

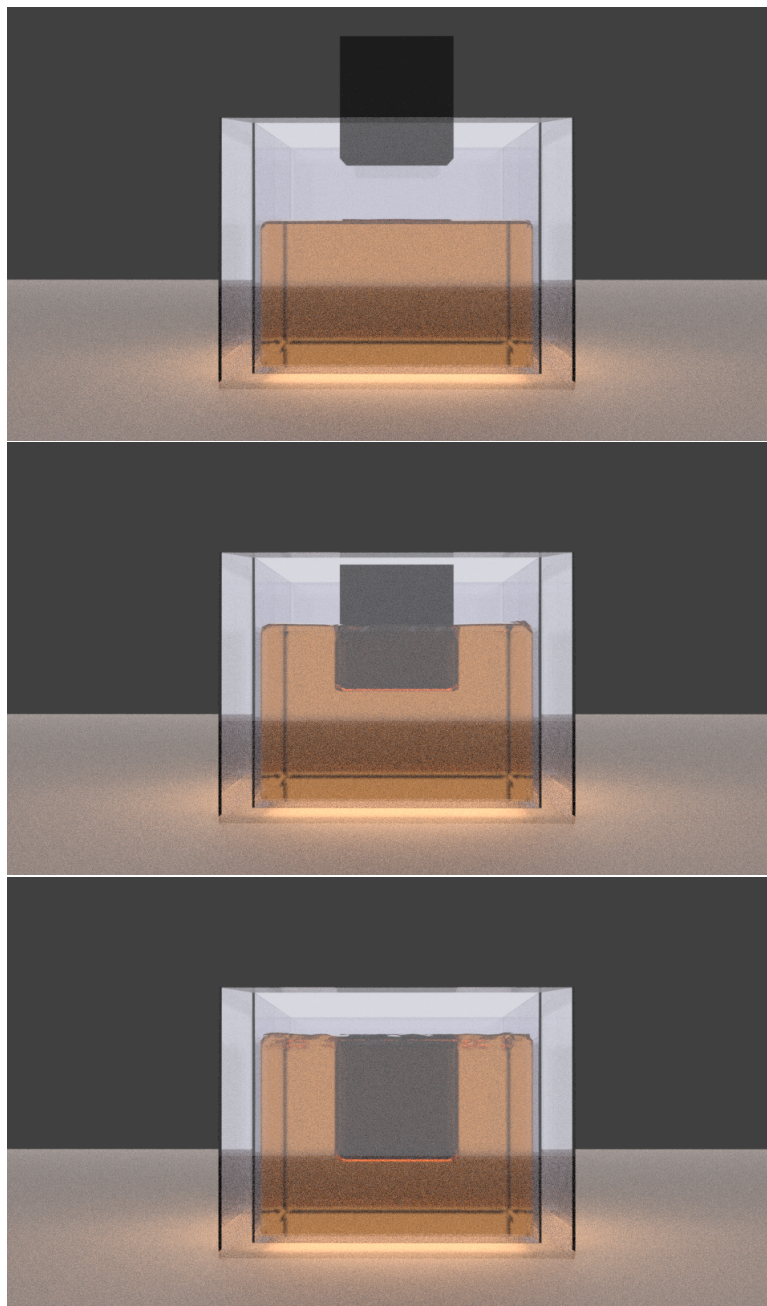
Muitos empreendimentos da engenharia utilizam as propriedades únicas dos fluidos. Configurações desenvolvidas há séculos são até hoje replicadas com poucas alterações. Um exemplo deste tipo de construção é a hidrelétrica. A primeira versão data de 1882 (HISTORY, ). Figura 1 mostra uma hidrelétrica simulada por nós. O modelo desenvolvido aqui apresenta o conceito de uma central hidrelétrica de pequeno porte. As imagens e animações criadas podem ser usadas para a apresentação de conceitos usados principalmente em engenharia, mas também de outras ciências naturais. As partes da central são coloridas de forma a destacar os objetos mais importantes.



**Figura 1:** *Simulação de uma pequena hidrelétrica. Nestes aparatos, a energia gravitacional armazenada no fluido é convertida em energia elétrica. Esta transferência é dada pela troca de energia cinética entre o fluido e a roda d'água. A ideia por trás desta configuração é usada até hoje.*

## I.2 Princípio de Arquimedes

Um dos princípios primordiais da teoria clássica dos fluidos, é o princípio de Arquimedes (NUSSENZVEIG, 2018). A figura 2 demonstra este fenômeno. As três sub figuras representam a evolução temporal do sistema. Um cubo (corpo rígido) é imerso em uma bacia com fluido. Pelo princípio, o volume de fluido que se realoca no recipiente, é igual ao do cubo. Desta forma, é possível medir de maneira indireta, o volume de objetos com geometria qualquer.

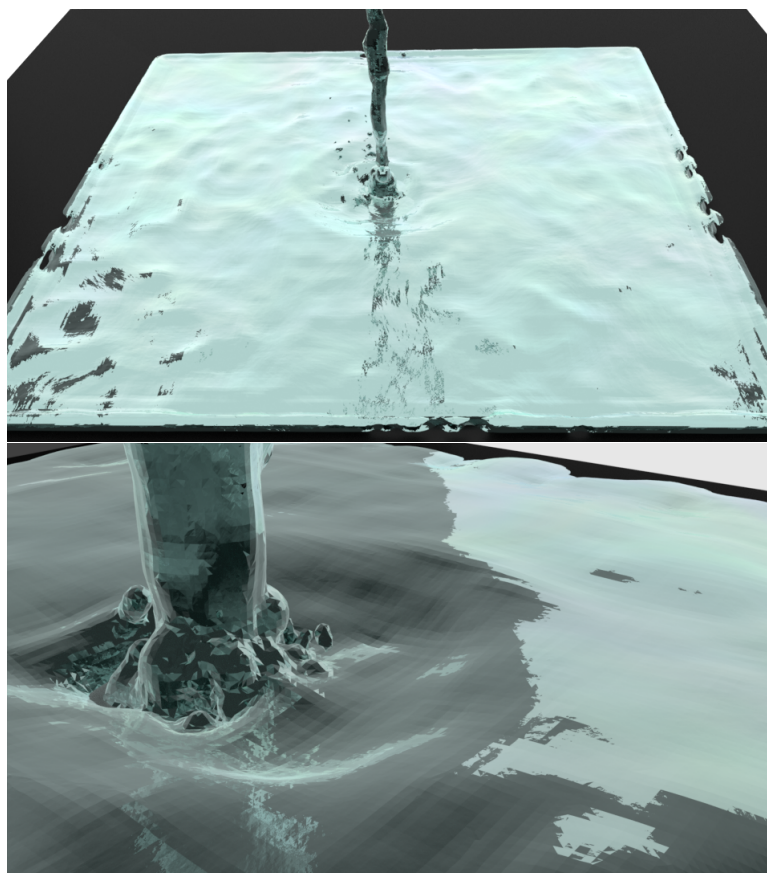


**Figura 2:** Sequência de figuras da simulação do princípio de Arquimedes em Blender. Um cubo rígido é imerso em uma bacia com fluido. À medida que o cubo afunda, o nível do fluido sobe. Para fluidos incompressíveis, o volume de fluido deslocado é o mesmo do cubo. Tal princípio é empregado amplamente na medição de volumes.

### I.3 Ondas superficiais

Figura 3 exhibe as chamadas ondas superficiais. Elas são consequência da perturbação do sistema. Quando um agente externo interfere em alguma propriedade do sistema, existe possibilidade de alterar o estado da configuração. No caso da figura, a perturbação é feita através de jatos de fluido, com momento não nulo. Esta injeção de momento perturba o sistema. Em ordem de dissipar esse fluxo de momento, o sistema passa a propagar ondas

superficiais ao longo da bacia.



**Figura 3:** Alguns exemplos das ondas superficiais em fluidos. Nas figuras, jatos de fluido são direcionados para bacias. A transferência de momento do jato para a bacia cria uma perturbação no sistema. Uma das manifestações desta perturbação é a propagação de ondas ao longo da superfície da bacia.

#### I.4 escoamento de uma torneira

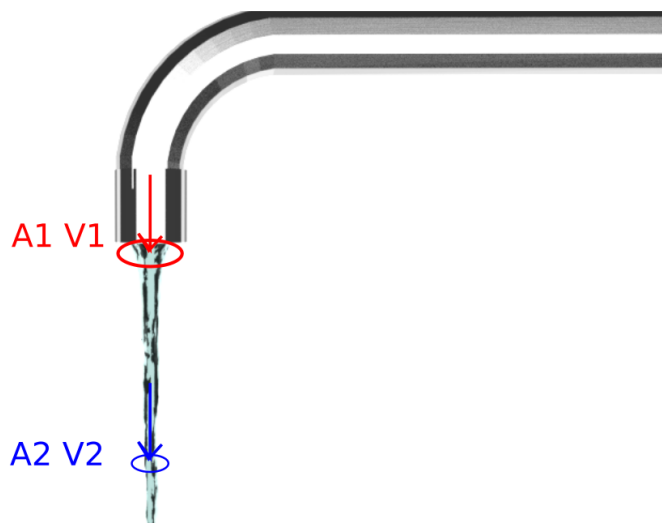
A física dos jatos de líquidos, é um ramo da física dos fluidos que tenta descrever sistemas onde ocorre algum tipo de ejeção de fluido. A torneira é um destes casos (talvez o mais simples). Assumindo a incompressibilidade do fluido, a explicação do fenômeno é de simples entendimento. Figura 4 mostra a simulação deste sistema. Quando o fluido é incompressível, pela conservação de massa, o fluxo de matéria de duas superfícies com áreas  $A_1, A_2$  distintas deve ser o mesmo. Em outras palavras

$$V_1 A_1 = V_2 A_2, \quad (1)$$

em que  $V_1$  e  $V_2$  são as velocidades do fluido perpendiculares às áreas  $A_1, A_2$ .

Supondo que  $A_2$  esteja localizada abaixo de  $A_1$ , pela ação da gravidade, a porção do fluido em  $A_2$  foi acelerada por mais tempo que o fluido em  $A_1$ . Portanto, a velocidade em  $A_2$ ,  $V_2$  será maior que  $V_1$ . Combinando com a condição de conservação de massa acima, temos que:

$$V_2 > V_1 \Rightarrow A_2 < A_1. \quad (2)$$



**Figura 4:** Simulação do escoamento de um fluido submetido à um campo gravitacional constante. Devida a presença de um campo de força constante, a medida que o fluido cai, maior é seu momento. Porém, se o fluido é incompressível, o fluxo de massa deve ser igual para qualquer duas seções transversais. Desta forma, em ordem de compensar o ganho de momento, a área transversal precisa diminuir.

Portanto, apenas pela presença da gravidade, a água é forçada a ter sua área transversal diminuída continuamente com o tempo.

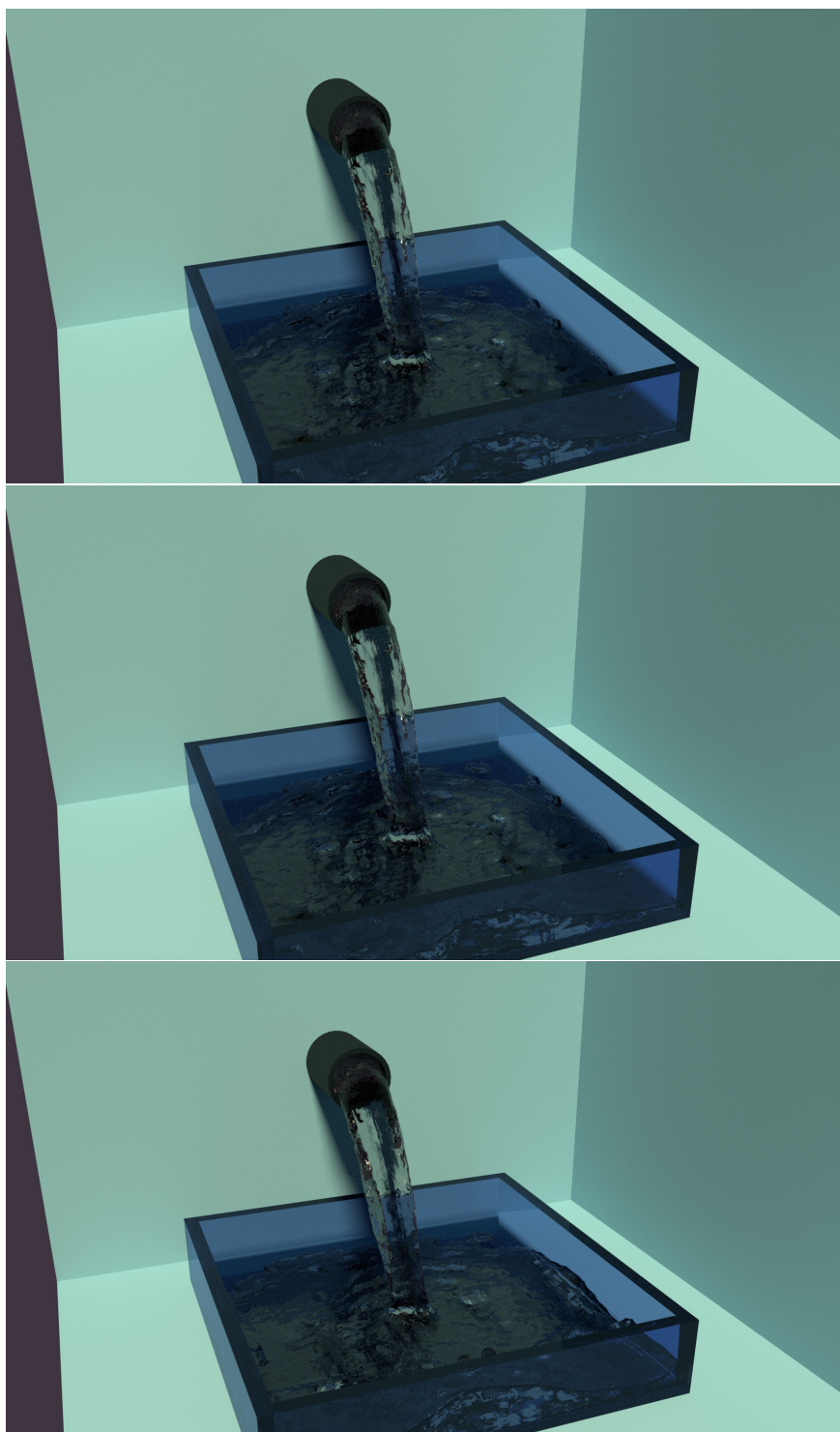
## II. Animações

### II.1 Cuba de água

Figura 5 mostra uma das primeiras animações feitas no projeto. Trata-se de um modelo simples onde um fluxo de água sai um cano e enche o recipiente. Esta aplicação inicial serviu para compreendermos o programa e entender como funciona a dinâmica de fluidos no blender.

### II.2 Efeito de Venturi

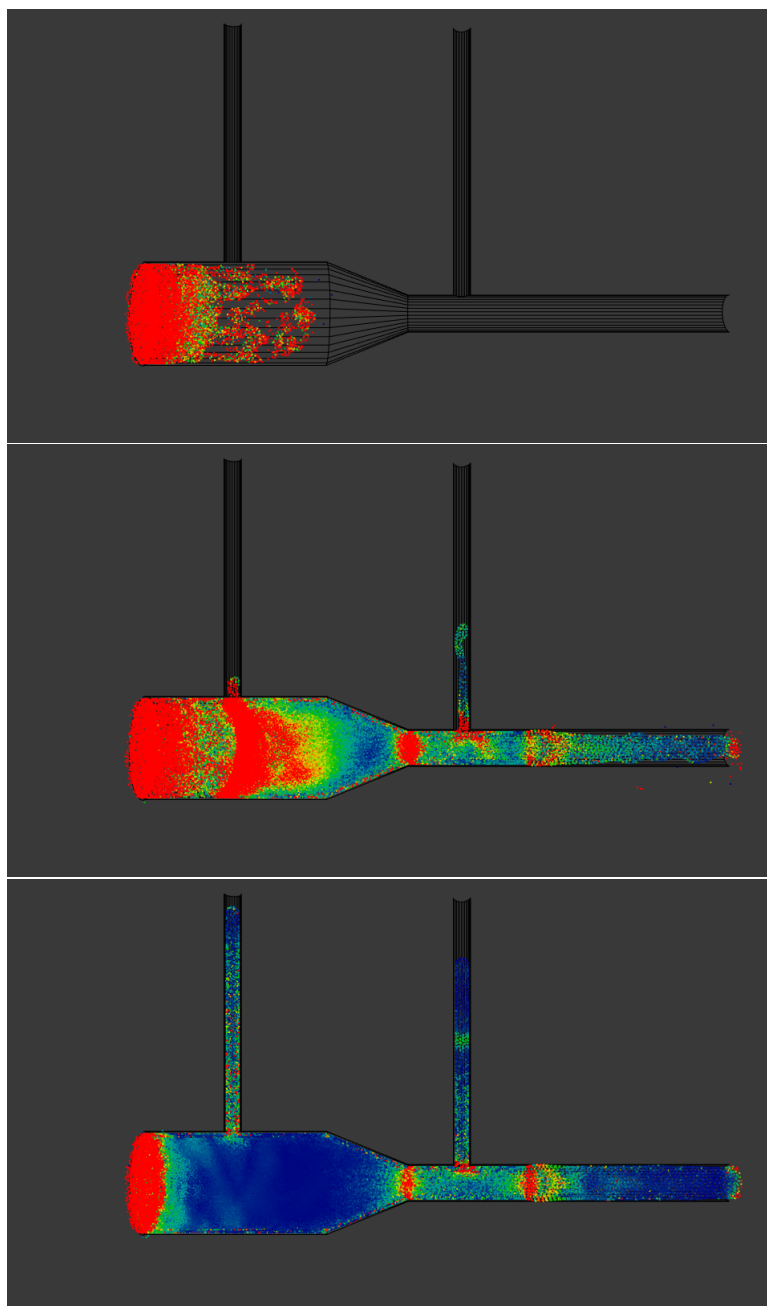
A sequência de imagens na figura 6 ilustra o conhecido efeito Venturi (NUSSENZVEIG, 2018). Este fenômeno surge ao considerar o escoamento de um fluido com variação local de pressão. Na animação, esta variação é imposta ao reduzir o diâmetro do cano de escoamento. A redução induz um aumento local na velocidade. Este aumento, pela lei de Bernoulli, compele o fluido a sofrer uma pressão menor. Tal constatação é verificada ao observar a diferença de nível entre os dois tubos verticais. Antes da variação local de pressão, o primeiro tubo vertical apresenta um nível alto, indicando uma pressão alta. Após a variação, o segundo tubo, atinge um nível menor, se comparado com o primeiro, indicando uma diminuição na pressão.



**Figura 5:** *Simulação de uma cuba sendo preenchida por água.*

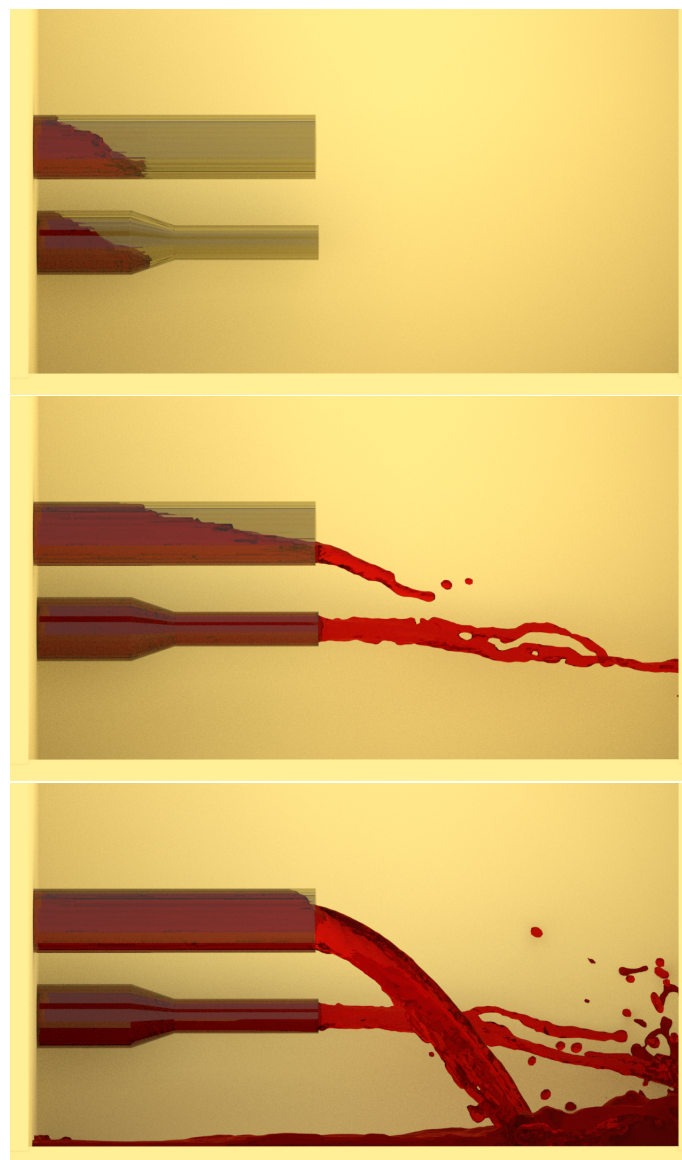
### **II.3 Estudo visual da equação de Bernoulli**

Figura 7 mostra uma simulação do escoamento de fluido em dois tubos com diâmetros diferentes. Este modelo busca apresentar a diferença na velocidade de fluxo de um fluido, em tubos que inicialmente possuem diâmetros iguais mas um deles tem seu diâmetro



**Figura 6:** Sequência temporal mostrando o efeito Venturi. O sistema consiste em um tubo com uma área transversal variável. A medida que o diâmetro varia, a pressão local também se modifica. Os pequenos tubos verticais revelam essa variação.

reduzido ao longo do caminho. Conhecendo as propriedades apresentadas pela equação de Bernoulli, é esperado que o tubo que tem seu diâmetro reduzido gere uma velocidade de escoamento maior no fluido. Os tubos são feitos de uma material com alta transparência e o líquido foi projetado para ter uma cor chamativa para facilitar a visualização de seu comportamento.

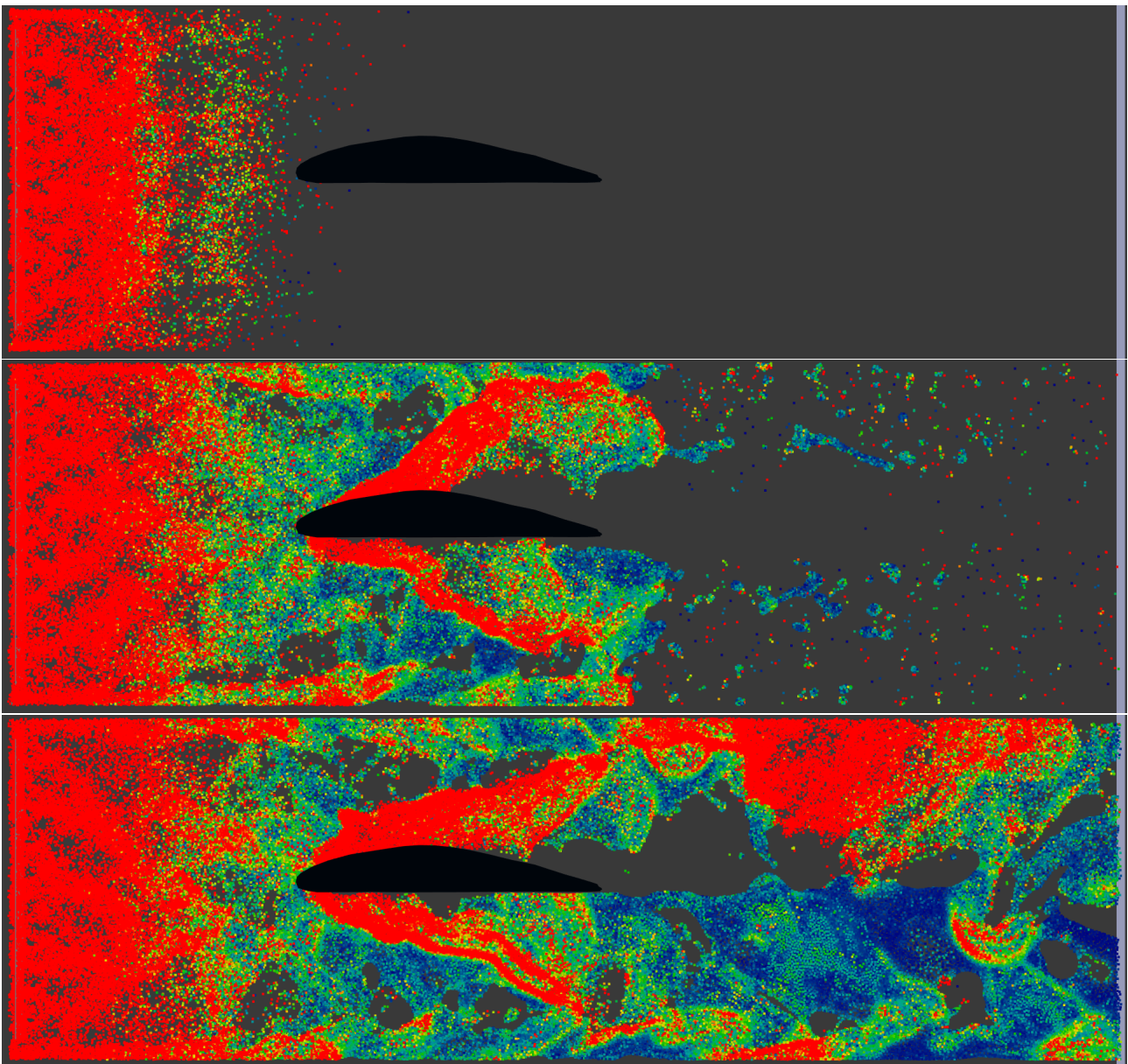


**Figura 7:** *Evolução temporal do escoamento de um fluido ao longo de dois tubos. Inicialmente, os tubos possuem a mesma proporção. Porém, ao se aproximar da extremidade, a área transversal de um dos tubos diminui. Desta forma, pela conservação de massa, haverá uma mudança na velocidade dos fluidos.*

#### II.4 Escoamento

Muitas aplicações tecnológicas associadas aos fluidos dependem da geometria do material (ACHESON, 1991). O formato, combinado com os regimes de escoamento pode resultar em diversas implicações relevantes. O exemplo mais notório é o avião. Quando em movimento, o avião sente o escoamento do ar ao redor. Historicamente, engenheiros buscam, através do design das aeronaves, minimizar o efeito dissipativo entre o avião e o ar. Uma das formas de se analisar tal problema é pelos experimentos de escoamento. Nestes experimentos procura-se otimizar alguma propriedade do escoamento através da introdução de novas geometrias. É sobre este contexto, que por exemplo, a ideia de aerodinâmica surge.

Além de possuir importância prática, o experimento de escoamento tem sua relevância histórica. Diversos conceitos associados a teoria clássica como, por exemplo, número de Reynolds foram elaborados no contexto deste tipo de sistema (ACHESON, 1991). Reproduzimos a montagem no Blender. Pode-se dividir o arranjo em três elementos: a caixa, a torneira e o objeto. A caixa é o domínio da simulação. Ela serve para limitar o escoamento. Já a torneira tem como função fornecer fluido dentro da caixa. O objeto consiste em qualquer material que se deseja estudar o escoamento. Figura 8 mostra a evolução temporal do escoamento de um aerofólio. A colisão com este corpo rígido induz perturbações no fluido, de modo que seu escoamento passa a ser do tipo turbulento.



**Figura 8:** Sequência de figuras mostrando o escoamento de um aerofólio. A simulação foi feita no modo de partículas. Sendo assim, o fluido é tratado como o comportamento coletivo destas partículas representativas. Cores quentes indicam regiões com valores altos de momento, enquanto que cores frias indicam baixo momento.

## II.5 Cuba de ondas

Em uma tentativa de simular aparatos reais, simulamos o sistema da figura 9. Trata-se de uma cuba com água onde um mecanismo gera ondas sobre a superfície. Esta é uma modelagem simples, inspirada em um experimento que busca analisar propriedades características dessa onda gerada, como comprimento de onda, velocidade de fase, velocidade de grupo e outras grandezas físicas relevantes.

## III. Infográficos

### III.1 Possibilidades de simulação de fluidos usando Blender

Afim de concentrar os resultados em um único material, compilamos diversos experimentos em uma revista. Ela contém infográficos que apresentam o nosso projeto e algumas possibilidades de simulação de fenômenos de fluidos usando Blender. Figura 10 exibe uma das páginas. Nela, uma contextualização dos pistões é feita, assim como a apresentação de diversas imagens.

Figura 11 mostra um infográfico retirado da revista. O tema desta página é o empuxo (NUSSENZVEIG, 2018). No lado direito, uma sequência temporal da simulação é apresentada. Através dela, é possível observar a evolução do sistema. Do lado esquerdo, há um texto de apoio, onde a simulação é explicada.

### III.2 Modelos e preceitos para simulação de fluidos usando Blender

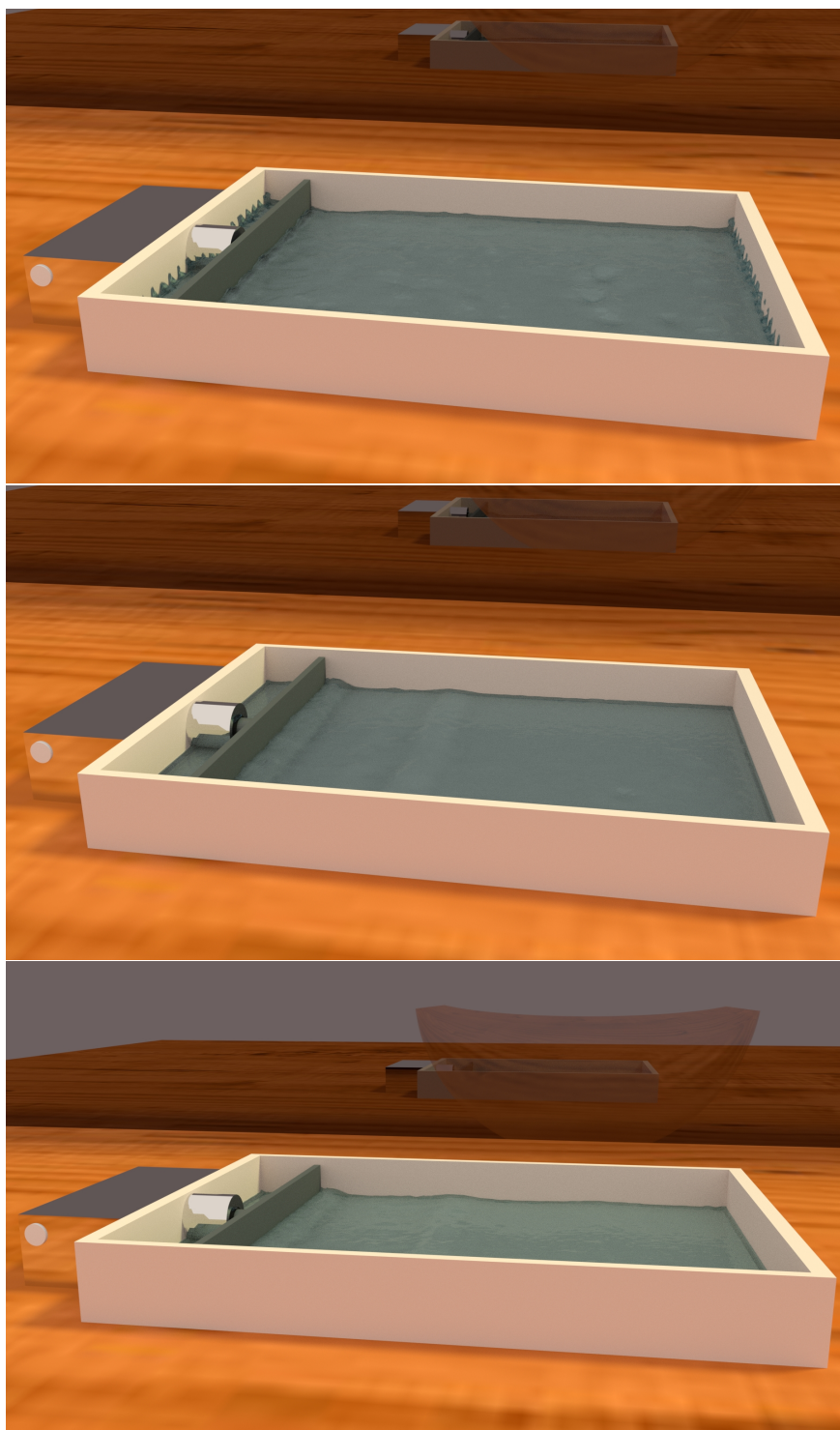
A figura 12 mostra infográficos que apresentam alguns modelos e preceitos utilizados para simulação de fluidos usando Blender. O infográfico à esquerda apresenta as principais etapas na simulação de um fluido usando Blender (ou programa similar). O da direita mostra as principais diferenças entre dois modelos de simulação: fluido contínuo e fluido formado por partículas. O modelo do fluido contínuo é utilizado por padrão. Normalmente se recorre ao modelo de partículas para representação de gases e fenômenos como amortecimento e arrasto, que estão intimamente ligados a interações entre partículas.

## III. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao financiamento oferecido pelo programa A3M junto do centro de educação à distância (CEAD-UNB).

## IV. CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS

Apresentamos parte dos materiais produzidos no projeto “Simulação de Fluidos com Blender” (CASTRO, 2018). As imagens dos fluidos apresentaram realismo satisfatório para ilustração de textos de Física, mesmo tendo sido geradas em computadores pessoais sem capacidade computacional especial. Foi possível reproduzir fenômenos relacionados ao princípio de Arquimedes, à equação de Bernoulli e à formação de ondas superficiais. Foi possível observar a interação entre jatos de fluidos e de fluido com sólido. Pudemos também



**Figura 9:** Modelo simplificado de um aparato utilizado para estudar as propriedades de ondas nos fluidos.

apreciar aspectos microscópicos do escoamento através da simulação discreta, por meio de partículas. Essas observações sustentam nossa recomendação do Blender para a ilustração científica de fenômenos físicos que envolvam fluidos.

Na segunda metade do projeto, nossa equipe estará concentrada na interação do público, em especial estudantes da Universidade de Brasília, com os produtos do projeto. Com



**Figura 10:** Página da revista de infográficos produzida ao longo do projeto. Um pequeno ensaio sobre os pistões e suas é apresentado.

essa finalidade, esperamos exibir os infográficos como cartazes ou em tótems eletrônicos. Por termos agora acesso a computadores dedicados à *renderização* das imagens, escolheremos algumas imagens para gerarmos versões com maior resolução. Também buscaremos o desenvolvimento de recursos interativos. Resultados parciais serão disponibilizados periodicamente na página <<http://gra.fis.unb.br/>> (GRA.FIS, 2019).

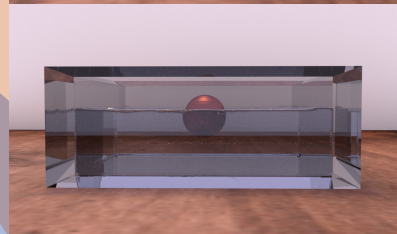
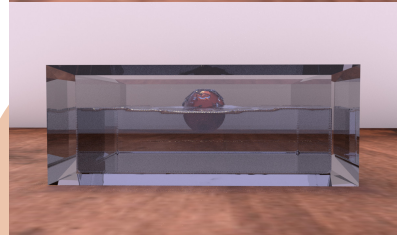
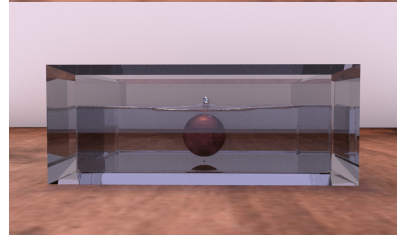
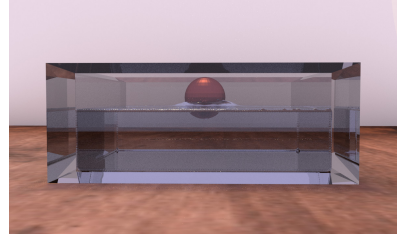
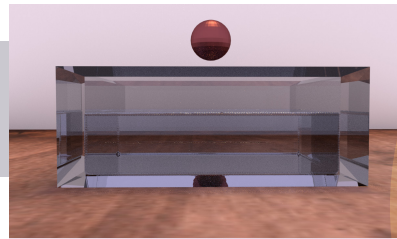
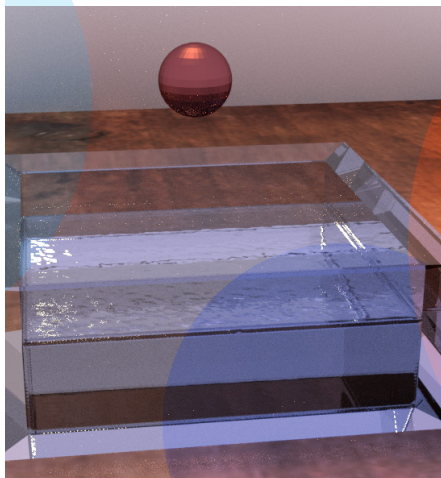
## REFERÊNCIAS

ACHESON, D. J. *Elementary fluid dynamics*. [S.l.]: ASA, 1991. 26, 34, 35

## EMPUXO EM UMA ESFERA

*Material indicado para ensino de hidrodinâmica e forças gravitacionais e de empuxo.*

Estudar fenômenos da dinâmica de corpos em flúidos é trabalho fundamental em diversas áreas da ciência. Este modelo apresenta o comportamento de uma esfera maciça ao ser colocada em queda livre numa cuba preenchida por um flúido. Escolhemos uma cor chamativa para destacar a esfera e a cuba é composta por um material com alta transparência.



**Figura 11:** Página da revista de infográficos produzida ao longo do projeto. Um pequeno ensaio sobre os pistões e suas é apresentado.

CASTRO, L. L. e. *Simulação de fluidos em programa Blender*. Centro de Educação a Distância - CEAD/UnB, Universidade de Brasília - UnB, 2018. Disponível em: <<http://www.a3m.cead.unb.br>>. Acesso em: 8 out. 2018. 26, 36

DESCONHECIDO. *Testimonials of Animatics for Motion Pictures*. Blender. Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20070221025521/https://www.blender.org/features-gallery/testimonials/>>. Acesso em: 9 agosto 2019. 27

GRA.FIS. *Computação Gráfica Aplicada à Física*. Instituto de Física, Universidade de Brasília, 2019. Disponível em: <<http://gra.fis.unb.br/>>. Acesso em: 20 fev. 2019. 27, 38

Figura 12: Infográficos que mostram os passos para simulação de fluidos em Blender e os dois modelos de fluido utilizados.

## PASSOS PARA SIMULAÇÃO DE FLUIDOS EM BLENDER

Guia simplificado

- 

**1 DEFINA SEU SISTEMA**  
Faça o esboço de seu sistema. Este passo é importante no planejamento, pois facilita a organização do projeto.
- 

**2 MODELE OS OBSTÁCULOS FÍSICOS**  
Modele separadamente os objetos que servirão de obstáculo para o fluido.
- 

**3 ADICIONE MESH DE FLUIDO**  
Insira o volume de fluido na simulação. Aplica-se a inflows também.
- 

**4 DEFINA O DOMÍNIO DA SIMULAÇÃO**  
O domínio ("domain") da simulação é a região onde o fluido está contido. É necessário considerar todo o conjunto da modelagem para definir um domínio adequado.
- 

**5 DEFINA OS PARÂMETROS FÍSICOS DO FLUIDO**  
Propriedades como a viscosidade devem ser escolhidos para se adaptarem ao tipo de simulação desejada
- 

**6 SIMULE O PROJETO**  
Completando todos os passos anteriores, resta simular o sistema. Neste passo, define-se a resolução desejada.

## SIMULAÇÃO FÍSICA VERSUS SISTEMA DE PARTÍCULAS

### COMPARANDO OS DOIS MÉTODOS DE SIMULAÇÃO EM BLENDER

 A simulação é contínua	 A simulação é discreta
Possui apenas um algoritmo de integração	Conta com 4 algoritmos distintos
<b>Propriedades:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Viscosidade</li> <li>• Proporção de escala</li> <li>• Condição de deslizamento</li> </ul>	<b>Propriedades:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Viscosidade</li> <li>• Movimento Browniano</li> <li>• Amortecimento</li> <li>• Arrasto</li> </ul>
	

HISTORY america's. *The World's First Hydroelectric Power Plant Began Operation*. National Aeronautics and Space Administration. Disponível em: <[http://www.americaslibrary.gov/jb/gilded/jb\\_gilded\\_hydro\\_1.html](http://www.americaslibrary.gov/jb/gilded/jb_gilded_hydro_1.html)>. Acesso em: 9 agosto 2019. 27

NASA. *Cassini 3d description*. National Aeronautics and Space Administration. Disponível

em: <<https://nasa3d.arc.nasa.gov/detail/jpl-vtad-cassini>>. Acesso em: 9 agosto 2019. 27

NEWTON, I. *Philosophiae naturalis principia mathematica*. [S.l.]: G. Brookman, 1833. v. 1. 26

NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de Física Básica: fluidos, oscilações e ondas, calor*. [S.l.]: Editora Blucher, 2018. v. 2. 28, 31, 36