

# MAC0209 - Modelagem e Simulação

## Relatório Exercício Programa 2

Henrique Cerquinho - 9793700  
João Pedro Miguel de Moura - 7971622  
Tomás Bezerra Marcondes Paim - 7157602  
Vitor Kei Taira Tamada - 8516250

29/05/2017

### 1 Introdução

Este relatório diz respeito aos experimentos realizados pelo grupo para comparar os modelos matemáticos para os fenômenos físicos de deslizamento de massa em uma rampa e do movimento oscilatório de um pêndulo com ambos os movimentos observados no mundo real. Os principais desafios são desenvolver um método para os experimentos que seja repetível e consistente, e implementar um algoritmo que compare os resultados matemáticos com os resultados dos experimentos realizados.

### 2 Método

Como sugerido pelo enunciado do EP2, escolhemos dois dos experimentos sugeridos: o do pêndulo e o da descida na rampa. Realizamos cinco repetições de cada um dos experimentos. As ferramentas utilizadas para a medição do experimento foram celulares equipados com cronômetros e o aplicativo *Physics Tool Box Suite*, bem como fita métrica e transferidor.

Para o experimento da descida em uma rampa, foi utilizado um skate como massa descendo uma superfície de asfalto de inclinação média de  $24^\circ$ . Foi desenhada uma pista de vinte metros com marcações aos dez metros e ao final da pista. Um celular foi preso com fita adesiva na parte de baixo do skate para medir as forças atuantes durante o experimento. O skate, inicialmente em repouso, é abandonado do ponto mais alto da pista até realizar o trajeto de vinte metros utilizando apenas a força da gravidade. Nenhum tipo de guia ou objeto que ordenasse a trajetória do skate foi utilizado. Outros dois celulares foram utilizados para cronometrar o tempo necessário para o skate cruzar os 10 metros e finalmente para terminar a pista.

No caso do experimento do pêndulo, um dos celulares foi amarrado à um barbante preso a uma altura de 3.84 metros. O celular pendurado é então afastado de sua origem até que o barbante forme uma angulação de aproximadamente  $10.14^\circ$  ( $0.177$  radianos) com o eixo de sua posição inicial. O celular é então abandonado nesta posição, a partir de onde passa a realizar o movimento do pêndulo. Marcações são feitas sempre que o celular completa um período completo de sua oscilação, até que pare devido à força da resistência do ar.

As execuções de ambos os experimentos foram feitas ativando a funcionalidade de gravação do *Physics* segundos antes do começo da corrida e desativando somente segundos depois do término. Os dados foram recolhidos como planilhas no formato .csv. Implementamos um algoritmo para visualizar a comparação entre os dados da planilha e os modelos matemáticos. Para isso, calculamos as posições esperadas segundo o modelo matemático e plotamos um gráfico juntamente com um gráfico com os dados das planilhas.

Todos os algoritmos foram implementados em Python.

### 3 Verificação do Programa

O programa foi construído para ser rodado sem nenhum argumento, iterando para cada arquivo obtido nos experimentos. Portanto, não há casos especiais.

Tanto para o caso da rampa quanto para o do pêndulo, calculamos o caso analítico a partir dos dados reais, como inclinação da rampa e do pêndulo.

A saída do programa mostra que os gráficos estão de acordo com o esperado, ou seja, para o movimento do pêndulo o gráfico se assemelha a uma senóide e para o da rampa o gráfico se assemelha a uma função quadrática (já que é uma espécie de movimento uniformemente variado).

## 4 Dados

<b>Experimento</b>		<b>Pêndulo</b>			
<b>Altura</b>		3.84m (3.78 ângulada)			
<b>Marcação</b>		A cada período			
<b>Ângulo</b>		10.14°			
<b>Tempos (s)</b>	<b>Exp. 1</b>	<b>Exp. 2</b>	<b>Exp. 3</b>	<b>Exp. 4</b>	<b>Exp. 5</b>
Período 1	3.7 / 3.8	4.05 / 3.8	3.84 / 4.0	3.9 / 4.0	3.94 / 4.0
Período 2	7.7 / 7.6	7.86 / 7.6	7.67 / 8.0	7.78 / 7.9	7.82 / 7.7
Período 3	11.5 / 11.6	11.77 / 11.6	11.67 / 11.9	11.75 / 11.7	11.67 / 11.5
Período 4	15.5 / 15.7	15.62 / 15.5	15.72 / 15.8	15.48 / 15.7	15.62 / 15.6
Período 5	19.5 / 19.4	19.69 / 19.4	19.6 / 19.6	19.65 / 19.6	19.47 / 19.5
Período 6	23.3 / 23.4	23.49 / 23.3	23.54 / 23.5	23.53 / 23.4	23.34 / 23.4
Período 7	27.3 / 25.2	27.56 / 27.3	27.37 / 27.4	27.4 / 27.4	27.27 / 27.3
Período 8	31.2 / 29.4	31.27 / 31.1	31.13 / 31.3	31.22 / 31.2	31.17 / 31.2
Período 9	35.1 / 33.6	35.27 / 34.9	35.25 / 35.2	35.18 / 35.0	35.14 / 35.3
Período 10	38.9 / 37.2	39.09 / 39.2	39.12 / 39.0	38.95 / 39.2	39.06 / 39.3

<b>Experimento</b>		<b>Rampa</b>	
<b>Distância</b>		20m	
<b>Marcação</b>		Aos 10m e aos 20m	
<b>Ângulo da rampa</b>		24°	
<b>Tempos (s)</b>	<b>Cronômetro 1 / Cronômetro 2</b>		
Experimento 1	5.49 a 9.29 / 5.70 a 9.85		
Experimento 2	4.93 a 9.27 / 3.99 a 8.65		
Experimento 3	5.22 a 10.17 / 5.35 a 10.29		
Experimento 4	4.97 a 8.79 / 5.04 a 8.65		
Experimento 5	5.23 a 9.24 / 5.13 a 9.19		

## 5 Análise

Os dois experimentos apresentam algumas diferenças do valor observado para o analítico devido a erros humanos nas medições. O experimento da rampa, em especial, apresenta uma grande diferença por termos desconsiderado o atrito e pela imprecisão na hora de medir a inclinação da rampa (dado que foi feito numa rua cuja inclinação não era constante).

## 6 Interpretação

Analisando os resultados, podemos concluir que, sem uma medição mais precisa dos efeitos do atrito no experimento, é difícil realizar uma simulação consistente com os dados recolhidos. Até mesmo utilizando constantes que determinamos razoáveis para os modelos que admitem a interação do objeto com o atrito, pudemos notar uma certa inconsistência, visto que a resistência do ar e

do chão entre uma execução do experimento e outra podem variar muito devido à natureza incontrolável dos ambientes de teste utilizados.

Em ambos os experimentos, os atritos com o chão (no experimento da rampa) e com o ar (no experimento do pêndulo) mostraram um alto grau de inconsistência, fazendo com que os tempos de conclusão das execuções dos experimentos variassem muito.

No caso do experimento com o pêndulo, qualquer mudança na corrente de ar poderia alterar os resultados e, no caso da rampa, qualquer mudança na trajetória poderia alterar o resultado final, visto que a superfície de asfalto utilizada apresentava pequenas deformidades e, conseqüentemente, a quantidade de atrito exercida sobre as rodas do skate poderia variar muito de uma execução do experimento para outra.

## 7 Crítica

Ao decorrer das atividades pudemos aprimorar nossas habilidades de formulação de experimentos agora em ambientes muito mais hostis à consistência de dados do que os experimentos do EP1. A necessidade de lidar com elementos como resistência do ar e atrito com o chão, dos quais não dispúnhamos de equipamentos ou de competência para medir com precisão, bem como a confecção de um ambiente de testes minimamente repetível se provaram desafios de importância considerável.

A familiaridade do grupo com os modelos matemático com que estávamos lidando, no entanto, auxiliou no processo de concepção do experimento, não gerando desafios adicionais de entendimento de física.

## 8 Log

**(Quarta 10/05/2017)** Concepção e execução dos experimentos e gravação do vídeo do experimento do pêndulo

**(Terça 16/05/2017)** Concepção e execução dos experimentos e gravação do vídeo do experimento da rampa

**(Quinta 18/05/2017)** Início da programação dos algoritmos de simulação e visualização

**(Sábado 20/05/2017)** Início da criação do relatório

**(Domingo 21/05/2017)** Edição e upload dos vídeos, finalização dos algoritmos

**(Segunda 29/05/2017)** Finalização do relatório e entrega

## 9 Análise Crítica

As principais dificuldades envolveram a concepção dos meios para realizar a comparação utilizando os algoritmos, os métodos para realização dos experimentos e a inexperiência com a realização de experimentos físicos com o agravante do alto envolvimento de forças de natureza incontroláveis como o atrito com o ar e com o chão. O fator humano também se mostrou presente, advindo principalmente dos cronômetros sendo marcados com uma precisão arbitrária, limitada pela percepção dos marcadores tanto no momento de início da contagem do cronômetro, quanto em cada uma das marcações. Estes fatores geram discrepâncias perceptíveis entre os resultados dos dois marcadores, mas em uma escala aceitável, geralmente na casa dos centésimos de segundo.

No caso do experimento com o skate, sem a construção de uma pista adequada que o obrigasse à realizar um determinado trajeto, provou-se difícil a tarefa de assegurar que o mesmo realizasse uma trajetória aceitavelmente retilínea ou que até mesmo permanecesse na pista.

## 10 Atribuições

**Experimento do Pêndulo:** Vítor, Henrique, Tomás

**Experimento da Rampa:** João

**Relatório:** João, Vítor, Henrique, Tomás

**Programação:** Tomás, Henrique, Vítor, João

## 11 Vídeo dos experimentos

<https://www.youtube.com/watch?v=Md4kvziEgwI>