

MAC0209 - Modelagem e Simulação  
**Relatório EP2**

Artur Alvarez - 9292931  
Mateus Anjos - 9298191  
Nicolas Nogueira - 9277541  
Victor Domiciano - 8641963

07 de Novembro de 2016

## 1. Introdução

O experimento realizado consistiu em simular dois tipos de movimento, o movimento circular uniforme e o movimento de um pêndulo, considerando forças de resistência.

## 2. Método

Realização da coleta de dados para o experimento do movimento circular:

- movimento realizado com auxílio da roda de uma cadeira de rodas com raio de 26cm
- 6 testes para o movimento (caso algum dê errado)
- 2 sensores para cada caso: 1 em um ponto fixo como sensor de proximidade e 1 sensor que acompanha o movimento acoplado na roda como sensor do Physics Toolbox "Montanha Russa" que grava dados do giroscópio e do acelerômetro.
- 1 pessoa filmando alguns trechos do experimento
- demais pessoas ajudando na execução em si do experimento

Protocolo de aquisição de dados:

- todos os experimentos gravados (no sensor que acompanha o movimento) de uma só vez
- ao início de cada teste espera para estabilizar o acelerômetro
- realiza-se o teste até a roda não atingir mais o ponto fixo parando a roda neste instante
- pausa final até estabilizar acelerômetro.

Realização da coleta de dados para o experimento do movimento do pêndulo:

- movimento realizado utilizando um celular de 155g como peso do pêndulo com comprimento da corda de 55cm
- 6 testes para o movimento com abertura de  $10^\circ$  (caso algum dê errado)
- 2 sensores para cada caso: 1 em um ponto fixo como sensor de proximidade (no ponto em que o pêndulo fica perpendicular ao chão) e 1 sensor que acompanha o movimento no celular do pêndulo como sensor do Physics Toolbox "Montanha Russa" que grava dados do giroscópio e do acelerômetro.
- 1 pessoa filmando alguns trechos do experimento
- demais pessoas ajudando na execução em si do experimento

- um papel foi utilizado no celular para facilitar a captação do sensor de proximidade

Protocolo de aquisição de dados:

- todos os experimentos gravados (no sensor que acompanha o movimento) de uma só vez
- ao início de cada teste espera para estabilizar o acelerômetro
- realiza-se o teste até o pêndulo realizar 20 oscilações
- pausa final até estabilizar acelerômetro.

Criação de um programa que simula o movimento para cada caso utilizando duas versões do método de Euler, no caso o método de Euler comum e o Euler-Cromer. Comparando os resultados experimentais com as simulações com ambos os métodos.

### 3. Verificação do programa

No caso do movimento do pêndulo, as medições do acelerômetro apresentaram variações muito pequenas, o que tornou inviável a extração de informações de posição. Utilizando os dados do giroscópio, podemos deduzir os pontos em que o pêndulo estava perpendicular ao plano do chão, uma vez que esses são os pontos em que o pêndulo atinge maior velocidade.

Comparamos então o Euler, Euler-Cromer e uma aproximação bruta de como ocorrem as oscilações, infelizmente sem poder obter as amplitudes de cada oscilação. Como o enunciado exigia incluir informações de resistência do ar, implementamos uma versão que considera um amortecimento linear  $q$  e variamos de forma a achar a simulação que mais se aproximasse do experimento. Nos métodos, utilizamos a aproximação  $\sin(\theta) \approx \theta$  obtendo a seguinte equação diferencial:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{g}{l}\theta - q\frac{d\theta}{dt}$$

Onde  $\theta$  é a posição em radianos,  $g$  é a constante gravitacional,  $l$  é o comprimento da corda e  $q$  é o amortecimento.

No caso do movimento circular, o grupo não conseguiu obter uma fórmula que simulasse efetivamente o movimento, embora tenhamos claro sucesso em obter os dados de posição que tornaria a simulação mais rica.

### 4. Dados

Os dados obtidos do experimento estão na forma de planilhas de acelerômetro e giroscópio para cada experimento que capturaram a força resultante e a velocidade, respectivamente.

Ao capturar os dados do pêndulo tivemos dois problemas, um deles foi que no acelerômetro os dados apresentaram variação muito pequena (da ordem de 0,02 g), assim não

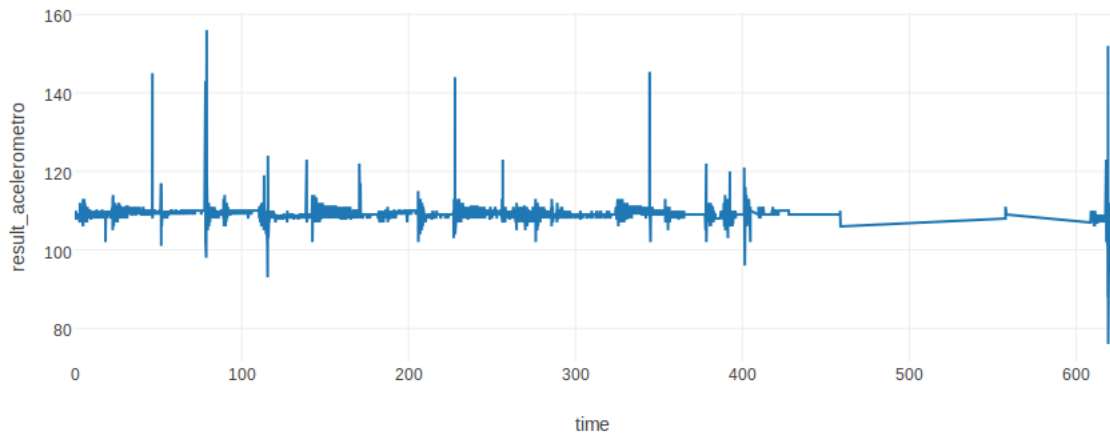


Figure 1: Acelerômetro no experimento do pêndulo.

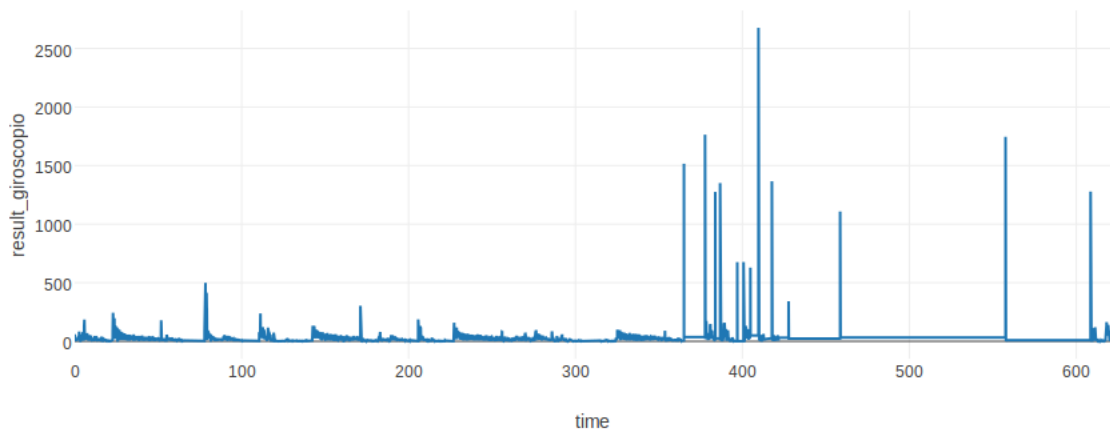


Figure 2: Giroscópio no experimento do pêndulo.

conseguimos adquirir dados confiáveis/expressivos para análises estatísticas e simulações. Outro foi que mesmo utilizando uma estratégia de 6 capturas para cada movimento houve uma perda na captura de dados do pêndulo, decorrente de um possível bug do Physics Toolbox que possibilitou apenas a observação de 4 testes no acelerômetro e giroscópio.

## 5. Análise

Isolamos os gráficos do acelerômetro e do giroscópio para cada teste de cada experimento para observar o comportamento desses dados sobrepostos (Figuras 3, 4 e 5).

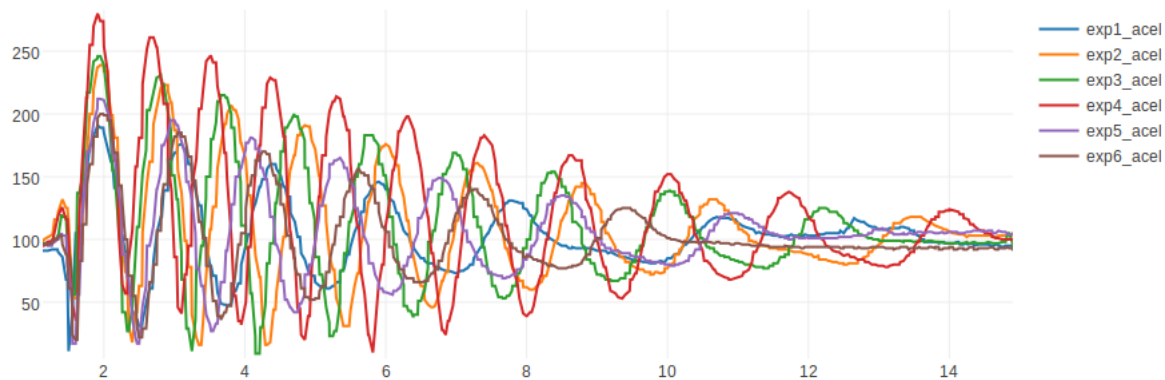


Figure 3: Dados do acelerômetro de todos os testes do movimento circular sobrepostos.

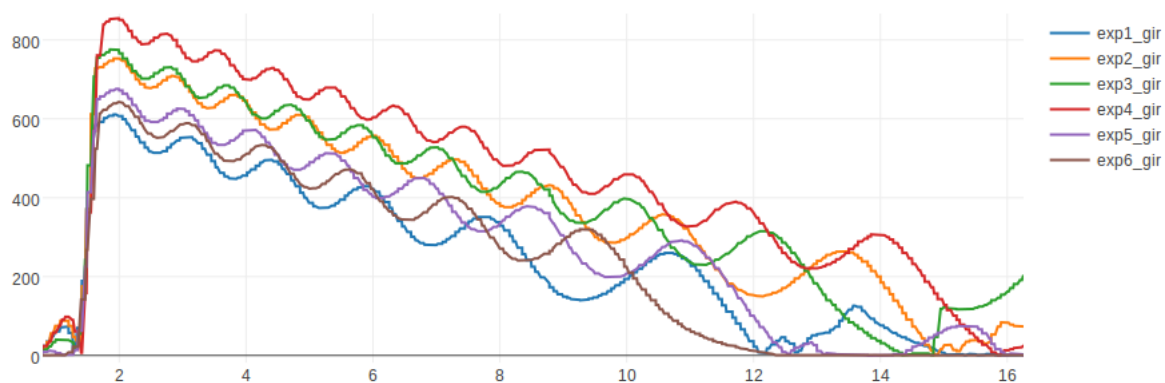
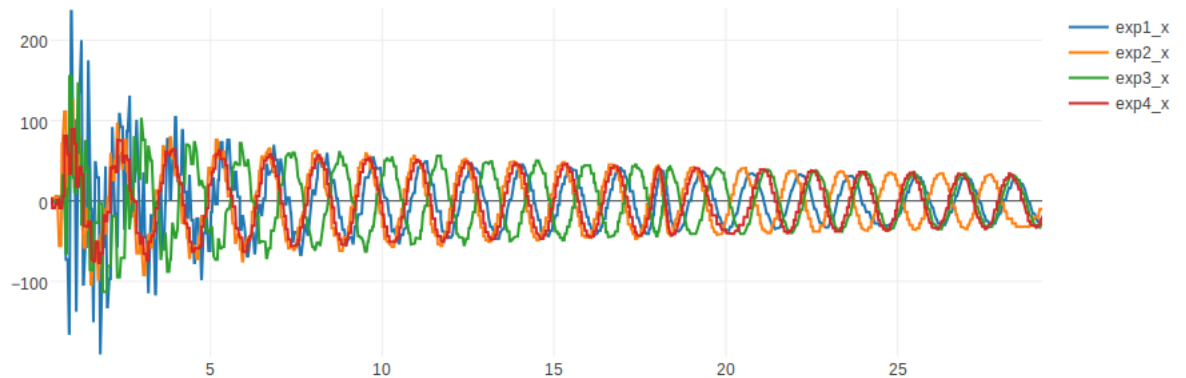


Figure 4: Dados do giroscópio de todos os testes do movimento circular sobrepostos.



**Figure 5:** Dados do giroscópio de todos os testes do movimento do pêndulo sobrepostos.

Do programa feito, geramos imagem para algum dos experimentos com diferentes valores de  $q$  (Figuras 6 e 7).

## 6. Interpretação

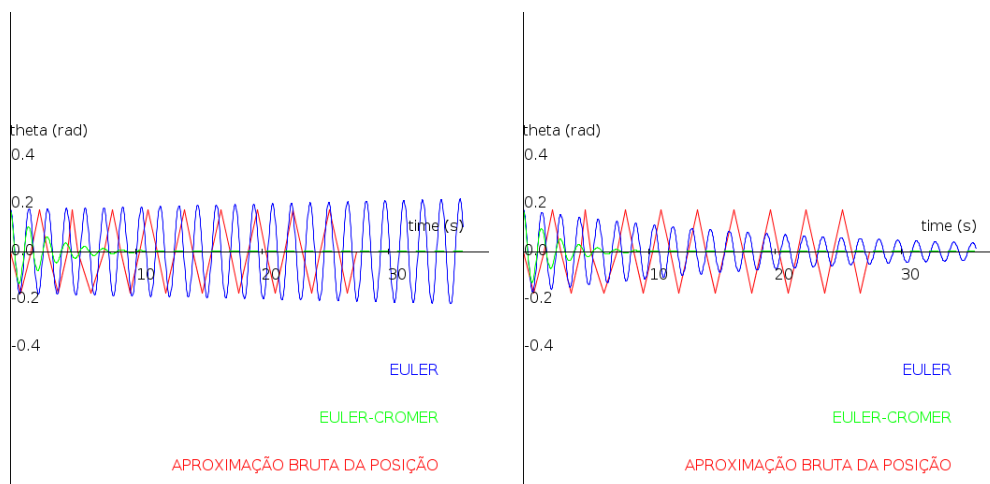
Os resultados dos acelerômetros apesar de certo padrão no início do movimento ele se torna instável em relação a amplitude e frequência, embora todos os testes estabilizem em períodos próximos. Em relação ao giroscópio os testes apresentam comportamento bem parecido, mas todos os intensidades diferentes no movimento circular.

Os dados do giroscópio do pêndulo são muito instáveis no início mas eles decrescem na mesma medida quanto a velocidade (devido à mesma resistência para todos os testes) e ficam com comportamentos parecidos ao final das oscilações.

Quanto ao programa, o método de Euler é bem fraco em relação à simulação do experimento, pois ele para de oscilar muito rapidamente. Já o método de Euler-Cromer apresenta comportamento mais esperado como simulação do experimento, o comportamento da posição e da velocidade capturada pelo giroscópio são semelhantes então provavelmente o experimento apresenta um amortecimento linear.

## 7. Crítica

O experimento planejado no EP Relato foi diferente do executado pela dificuldade de arrumar os materiais, assim, partimos para o plano B de fazer o movimento circular



**Figure 6:** Saída do programa em comparação com o primeiro experimento com  $q = 0.6$  (esquerda) e  $q = 0.8$  (direita).

explicado neste relatório.

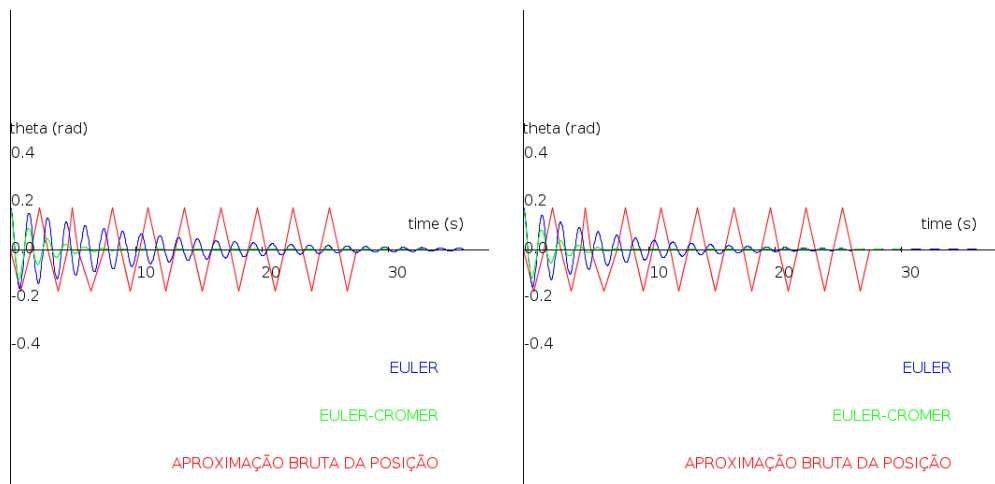
O experimento deixou claro como é difícil simular sistemas considerando forças de atrito em situações do mundo real e como os dados podem variar em um mesmo experimento. Além das dificuldades de implementar os diferentes movimentos e observar o comportamento do sistema em relação aos "chutes" para os valores do amortecimento.

## 8. Log

- Planejamento do experimento - 3 semana
- Realização do experimento - 1 dia
- Elaboração do programa - 1 semana
- Elaboração do relatório - 2 dias

## 9. Contribuições dos Autores

Artur Alvarez e Mateus Anjos analisaram os dados do csv em relação a interpretar os diferentes testes do experimento, Victor Domiciano elaborou a plotagem dos gráficos a partir dos dados de posição e tempo, Nicolas Nogueira implementou o método de Euler e Euler-Cromer, montou o relatório e editou o vídeo do experimento. Todos participaram da execução do experimento e revisaram este relatório.



**Figure 7:** Saída do programa em comparação com o primeiro experimento com  $q = 0.9$  (esquerda) e  $q = 1$  (direita).

## 10. Vídeo do experimento

O vídeo do experimento está disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=UB8cPsZBbDg>.