

Modelagem e Resolução Numérica de Pêndulos Simples Amortecidos e Visualização Didática com Manim: Esboço

Hézio Delfino Lopes de Alcântara 231028343*

IF-UnB

(Data: 25 de novembro de 2025)

I. FFT E FINDPEAKS

De modo geral, a análise por FFT é utilizada aqui apenas como etapa de calibração para o algoritmo de detecção de picos. A Transformada Rápida de Fourier permite identificar a frequência dominante presente no sinal, i.e., a componente oscilatória de maior energia. A partir dessa frequência f_0 , estima-se o período fundamental $T = 1/f_0$, que é então convertido em uma distância mínima entre picos em número de amostras (distance $\approx 0.6 T/\Delta t$).

```
# ----- Estima período via FFT -----
dt = np.median(np.diff(t_win))
yf = np.fft.rfft(signal - np.mean(signal))
xf = np.fft.rfftfreq(len(t_win), dt)

idx = np.argmax(np.abs(yf)[1:]) + 1
f0 = xf[idx]
period_est = 1.0 / f0

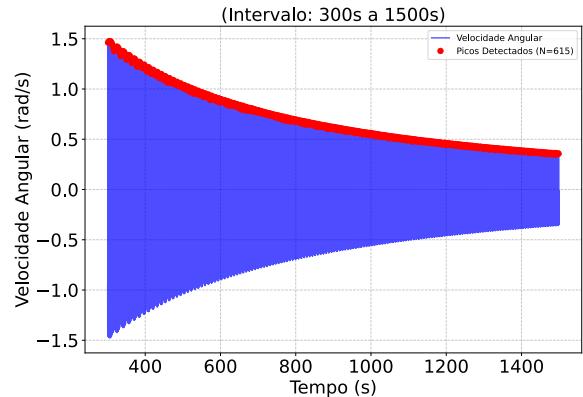
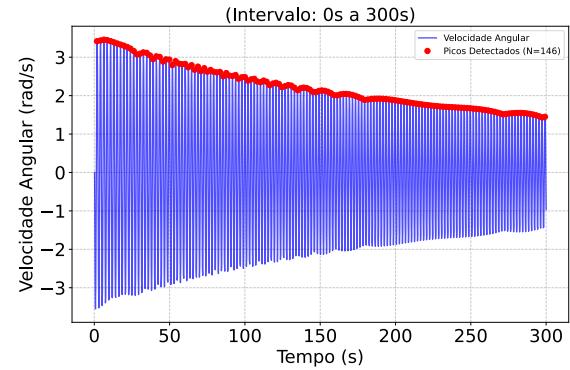
# ----- converte em distância mínima entre picos -----
distance_samples = int(0.6 * period_est / dt)

# ----- Usa a distância no find_peaks -----
peaks, props = find_peaks(signal, distance=distance_samples)
```

Dessa forma, esse valor ajusta automaticamente a escala temporal típica da oscilação, permitindo que o `find_peaks` identifique apenas picos físicos reais e ignore flutuações de ruído. Repare que `distance_samples` é usado no argumento `distance` do `find_peaks`.

II. VELOCIDADE X TEMPO

Com isso, foi possível pegar as velocidades máximas medidas pelo sensor



III. VELOCIDADE MÁXIMA X TEMPO

claramente um início com amortecimento forte (0-300s **figura 1**), onde a energia cai rápido, e uma fase posterior em que o sistema passa a perder energia de forma mais suave, típica de amortecimento viscoso/linear. A velocidade máxima decai o tempo todo, como esperado em um pêndulo amortecido. No regime de (300-1500s **figura 2**), a curva se aproxima lentamente de zero. Sugere pelo menos dois regimes de velocidade.

IV. VELOCIDADE MÁXIMA X AMPLITUDE

para um pendulo ideal sem atrito, quanto maior a amplitude, maior a velocidade no ponto mais baixo. No

* heziodelfino@gmail.com

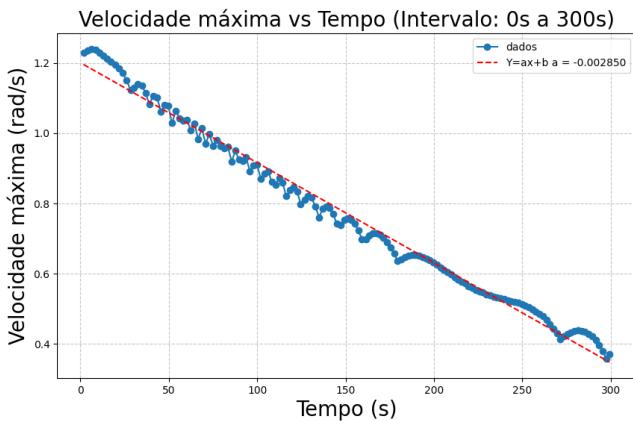


Figura 1: regime de amortecimento 'forte'

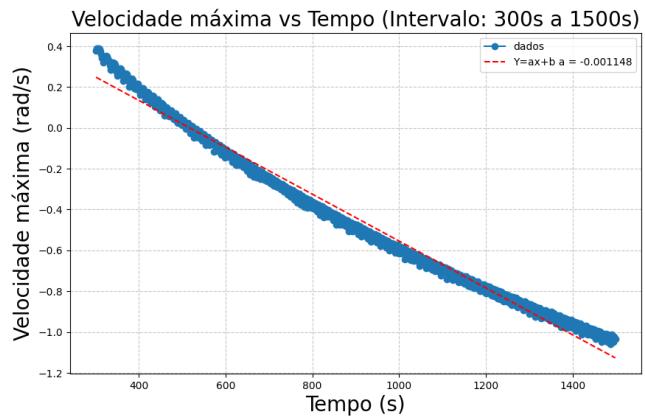


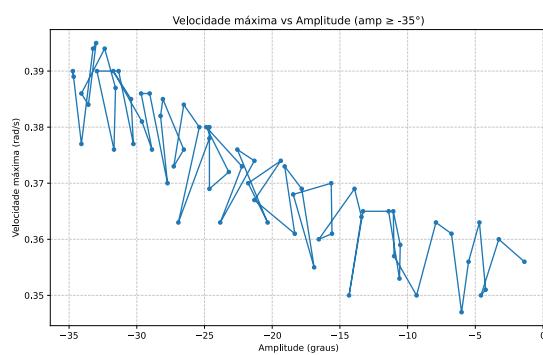
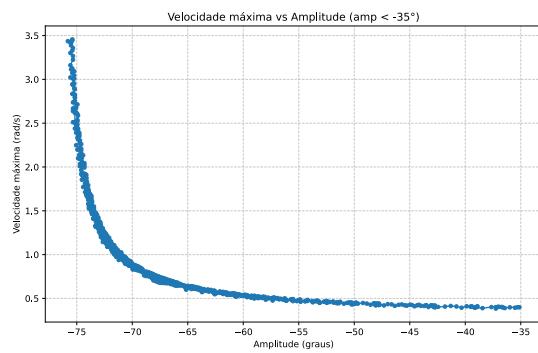
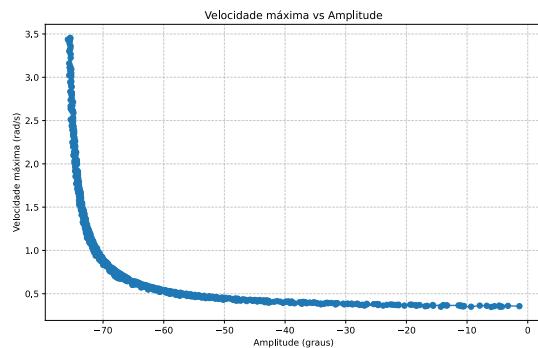
Figura 2: regime de amortecimento 'fraco'

entanto, observando o gráfico e sabendo q tem amortecimento, quanto maior a amplitude menor a velocidade máxima atingida.

V. CORREÇÃO DOS GRÁFCOS DE VELOCIDADE MÁXIMA VS AMPLITUDE

Ajustei o sentido de leitura do vetor da coluna de velocidade angular, medido pelo Pasco. O erro era um simples descuido na hora de plotar os dados no gráfico, o que anteriormente resultava numa interpretação física inversa à esperada.

```
# Aq inverte o vetor da velocidade angular
signal = df_plot[COLUNA_VELOCIDADE_ANGULAR].values[::-1]
# o trecho acima conserta o erro cometido anteriormente (18 de out)
```



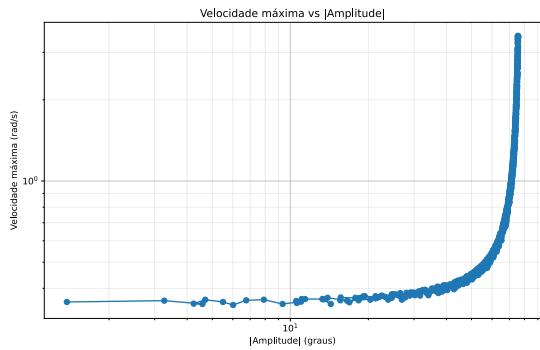


Figura 3: O comportamento não é linear: em pequenas amplitudes, a velocidade máxima varia pouco, mantendo a energia praticamente constante. À medida que a amplitude aumenta, a velocidade máxima cresce muito mais rapidamente do que prevê a aproximação linear. Pode-se concluir que, para grandes amplitudes, o pêndulo opera claramente fora do regime linear.