

# ARDUINO 101 EM MOVIMENTO ACELERADO

Gustavo Henrique Bastos da Silva<sup>1</sup>, Cezar Soares Martins<sup>2</sup>, Milton Silva da Rocha<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup>FATEC-SP – Faculdade de Tecnologia de São Paulo  
gustavobastos1996@gmail.com, mrocha@fatecsp.br

## Resumo

Dispositivos *MEMS* (*Microelectromechanical systems*) [1], têm grande aplicação em IoT (Internet of Things) – Internet das Coisas). Por serem produzidos em larga escala, há interesse em analisar suas características operacionais e respostas aos fins que são destinados. Como exemplos de dispositivos MEMS têm-se os acelerômetros de larga aplicação em celulares para a orientação e para o posicionamento de imagens. A plataforma Arduino 101 [2], com unidade de acelerômetro integrada, foi anteriormente aplicada na avaliação de um sistema em equilíbrio estático [3].

Neste trabalho são estudados dados obtidos através da plataforma Arduino 101 para sistemas acelerados de um sistema massa preso a uma mola. Os resultados obtidos foram comparados com modelos teóricos de um corpo em movimento oscilatório sem amortecimento e também com o amortecimento em um fluido.

## 1. Introdução

Este trabalho dá continuidade à análise de dados experimentais de aceleração de uma plataforma Arduino 101 em equilíbrio estático e fixa em um plano inclinado. Os experimentos foram realizados para várias inclinações do plano e os dados obtidos mostraram boa concordância com previsões teóricas, seguindo aproximadamente as equações de equilíbrio estático, mostrando, porém, discrepâncias para inclinações próximas a 90°.

Estão analisados dados de aceleração obtidos da plataforma Arduino 101 em um sistema acelerado. Foi utilizado um sistema massa preso a uma mola em movimento oscilatório. O Arduino 101 foi fixado à massa (esfera de aço) estando conectado a um computador pessoal por um cabo serial para transmissão de dados em tempo real. A unidade Arduino 101 possui um acelerômetro integrado que produz valores de tensões elétricas relacionadas às acelerações nos eixos x, y, z. Uma unidade de conversão analógico-digital, própria do Arduino 101, transforma valores analógicos de tensão em valores digitais que são transmitidos via cabo.

## 2. Base experimental

O trabalho consiste em receber e analisar valores experimentais de aceleração obtidos através da placa Arduino 101 presa em um sistema em oscilação (massa presa a uma mola). Os valores foram comparados com modelos teóricos para o movimento oscilatório de uma massa esférica sem atrito e também considerando o atrito de uma esfera em um fluido.

### 2.1 Medidas iniciais.

O conjunto da massa presa à mola foi caracterizado para movimento harmônico simples pelos parâmetros: constante elástica da mola ( $k$ ) e frequência de oscilação ( $f$ ). A mola foi fixada em uma extremidade e uma massa foi presa à extremidade livre para oscilar verticalmente. A massa foi solta e foi medido o deslocamento em relação à posição de equilíbrio. A constante ( $k$ ) pôde ser obtida pela lei de *Hooke* [4], equação 1.

$$F = m \cdot g = k \cdot x \quad (1)$$

Onde:

$m$  é a massa da esfera;  
 $g = 9,78\text{m/s}^2$  é a aceleração da gravidade;  
 $k$  é a constante elástica da mola;  
 $x$  o deslocamento da massa.

Isolando a variável  $k$ , é obtida a equação 2.

$$k = mg/x \quad (2)$$

Sendo  $m = 0,51\text{kg}$ , e  $x = 0,185\text{m}$ , tem-se  $k = mg/x = 26,96\text{ N/m}$ .

Ainda sem o acelerômetro, o conjunto foi colocado em oscilação. Com um relógio digital foram contadas 40 oscilações em 35,80s. Estes valores fornecem o período de oscilação  $T = (35,80/40)\text{ s} = 0,90\text{s}$ , valor usado para comparação com a medida da constante da mola através da equação 3:

$$2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot \pi / T = (k/m)^{1/2} \quad (3)$$

Onde  $f$  é a frequência de oscilação.

Sendo  $f = 1/T = (1/2\pi) \cdot (k/m)^{1/2} = 1,16\text{ Hz}$  se obtêm  $T = 1/f = 0,86\text{s}$ , que apresenta uma diferença da ordem de 4,4% (0,04/0,90) em relação à medida cronometrada.

### 2.2 Medidas de aceleração.

Nesta etapa, o Arduino 101 foi preso à esfera de aço (diâmetro  $\approx 5\text{ cm}$ ) e o conjunto foi posto para oscilar na direção vertical em relação ao plano terrestre, Figura 1. Pelo fato de existir um cabo serial ligando o Arduino ao computador pessoal, o movimento se tornou fortemente amortecido.

O Arduino 101 foi programado para receber, em tempo real, os dados de aceleração em três eixos e transmitir via comunicação serial. Uma aplicação em planilha Excel – *PLX – DAQ* [5] recebe e armazena os dados, Figura 2.

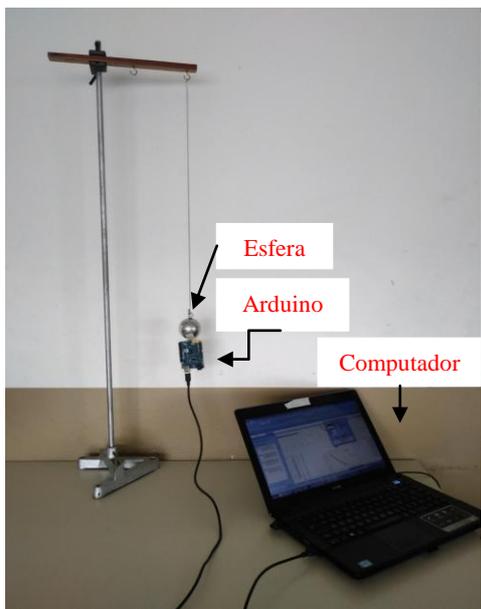


Figura 1 – Plataforma Arduino 101 em oscilação.

Na Figura 1 o Arduino 101 está fixo à esfera, e conectado via cabo, com um computador pessoal.



Figura 2 – Interface PLX-DAQ e funcionalidades.

Na Figura 2, o processo de comunicação serial entre Arduino 101 e o computador pessoal é controlado pela interface do programa PLX-DAQ, mostrado no *icone Data Acquisition for Excel*. Este controle inicia e finaliza a comunicação, assim como recebe, armazena e limpa dados da planilha.

Com o Arduino (e o acelerômetro) preso à esfera, conectado ao computador pessoal via cabo serial, Figura 1, e carregado com o programa de leitura e transmissão de dados de aceleração, o conjunto foi colocado em oscilação. A Figura 3 apresenta o programa básico para obtenção de dados de aceleração.

O programa tem duas funções principais: *void setup()* e *void loop()*.

A função *setup()* inicializa o sistema definindo ações como: configurar a velocidade de comunicação e definir a faixa de atuação do acelerômetro.

A segunda função é executada periodicamente e em tempo real. Suas principais tarefas são ler os dados

de aceleração e a seguir realizar a transmissão serial para ser recebida pelo o computador pessoal.

A instrução `float ts = (currentMillis/100.0)`, define a medida de tempo em décimo de segundo.

A instrução `CurieIMU.readAccelerometerScaled(ax, ay, az)` é uma função para obtenção dos valores de aceleração nos três eixos.

O comando `delay(50)`, causa uma parada de processamento de 50 milissegundos entre cada ciclo de execução da função `void loop()`.

Antes de iniciar qualquer uma das funções, é utilizada a diretiva `#include "CurieIMU.h"` que coloca à disposição de uso as bibliotecas onde estão os códigos para leitura de aceleração. Antes da execução das funções, são definidas as variáveis globais do programa.

Ainda na Figura 3, o código apresentado pode ser ajustado para outras funcionalidades do Arduino.

```
#include "CurieIMU.h" //Biblioteca para o
acelerômetro
int x = 0; int linha = 0; //Variáveis do programa
void setup() { Serial.begin(9600);
while (!Serial);
Serial.println("Initializing IMU device...");
Serial.println("CLEARDATA");
CurieIMU.begin();
CurieIMU.setAccelerometerRange(2); }
void loop() {
float ax, ay, az; //variáveis com aceleração x, y, z.
unsigned long currentMillis = millis();
// unidade de medida em décimo de segundo
float ts=(currentMillis/100.0);
//Função para leitura da aceleração
CurieIMU.readAccelerometerScaled(ax, ay,
az);
//Transmissão serial dos dados
Serial.print("DATA, DATE, TIME,");
Serial.print(ts); Serial.print(",");
Serial.print(az); Serial.print(",");
Serial.print(ay); Serial.print(",");
Serial.println(ax);
// Código para protocolo com PLX-DAQ
linha++; x++;
if (linha > 3600) { linha = 0;
Serial.println("ROW,SET,2"); }
// Intervalo de tempo que pode ser ajustado
delay(50);
}
```

Figura 3 – Código para leitura de aceleração

### 3. Resultados e Discussões

Foram efetuadas medidas em intervalo de tempo que dependem da duração da execução das instruções e do intervalo de tempo “*delay*” definido entre cada medida.

Inicialmente, foram ativados o programa no Arduino e o software *PLX-DAQ* no computador pessoal. Assim, em primeiro lugar é iniciada a gravação dos dados do sistema massa-mola, com o Arduino preso à massa e o conjunto estando deslocado da posição de equilíbrio. Alguns momentos depois o conjunto foi solto entrando em oscilação. A Tabela I apresenta em quatro colunas uma amostra das medidas efetuadas.

Tabela 1 - Dados parciais para as acelerações.

Tempo 101 (em 0,1s)	ax (g)	ay (g)	az (g)
	<b>ax</b>	<b>ay</b>	<b>az</b>
323,1	1,26	-0,03	-0,08
324,0	1,23	-0,08	-0,04
324,9	1,20	-0,09	-0,02
325,8	1,19	-0,08	0,02
326,8	1,17	-0,05	-0,09
327,7	1,16	-0,06	-0,03
328,6	1,14	-0,07	0,01
329,4	1,13	-0,06	-0,02
330,4	1,12	-0,06	-0,03
331,3	1,11	-0,07	0,01
332,2	1,10	-0,07	0,02
333,0	1,09	-0,06	0,00
334,0	1,08	-0,06	0,01

A primeira coluna mostra o tempo absoluto fornecido pelo Arduino 101, em décimos de segundos.

As demais colunas mostram valores de aceleração nos eixos x, y e z. O eixo x tem a direção perpendicular ao plano horizontal terrestre.

Os valores de aceleração são normalizados em relação ao valor  $g=9,8 \text{ m/s}^2$  e a referência para os eixos dependem da orientação do Arduino em relação à superfície terrestre. Os gráficos das acelerações estão na figura 4.

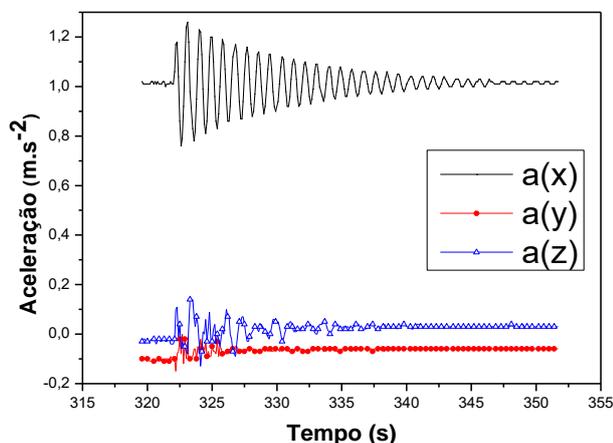


Figura 4 – Movimento oscilatório amortecido.

A Figura 4 mostra a maior amplitude na orientação  $a_x$ , visto pelo gráfico que representa a aceleração no eixo vertical, normalizado em relação à gravidade. Notar que a aceleração no eixo vertical se apresenta em torno do valor 1 ( $g = 9,78 \text{ m/s}^2$ ) e tem a maior amplitude de oscilação. Os outros eixos oscilam em torno de zero porque tem a direção normal ao eixo vertical.

As acelerações  $a_y$  e  $a_z$  mostram pequenas oscilações devidas a um movimento lateral da esfera.

#### 4. Análises dos Resultados

O objetivo deste trabalho é avaliar o comportamento do Arduino 101 na obtenção de dados em um sistema em movimento para orientar experimentos e aplicações para esse dispositivo. Para isto, foi analisado o gráfico da figura 4, e observado que é similar ao de uma esfera presa à uma mola movendo-se em um fluido. No modelo que será aplicado a seguir, não se considera efeitos devidos ao cabo conectado ao Arduino 101 e também do atrito ocasionado pela placa presa ao Arduino. Estes efeitos poderiam ser minimizados por transmissão de dados via rádio frequência ou qualquer mecanismo de transmissão remota. Com base na figura 4, uma equação simplificada para a aceleração é [6]:

$$a_x(t) = a \cdot \exp(-t/\tau) \cdot \cos(\omega t) \quad (4)$$

O modelo aplicado não considera o arraste do cabo que liga o Arduino ao computador pessoal. Este efeito pode ser minimizado usando-se um cabo leve e flexível.

A partir dos dados experimentais, parcialmente mostrados na Tabela 1, foi retirada uma sequência de valores de máximo de aceleração em  $a_x$ . A Tabela 2 mostra os dados obtidos.

Tabela 2 – Máximo de valores amortecidos.

t(s)	ax(g)	$\Delta t$ (s)
2,9	1,26	
3,8	1,23	0,90
4,7	1,2	0,90
0,56	1,19	0,90
0,66	1,17	1,00
0,75	1,16	0,90
0,84	1,14	0,90
0,92	1,13	0,80
1,02	1,12	1,00
Média=		=0,91

A coluna t(s) apresenta, em segundos, o tempo decorrido para o primeiro máximo da aceleração no eixo  $a_x$ . A coluna  $a_x(g)$  mostra a aceleração normalizada em relação à aceleração da gravidade. A coluna  $\Delta t(s)$  representa intervalos de tempo entre valores máximos de aceleração  $a_x$ , obtidos a partir da primeira coluna.

Com base na equação 4, cada ponto de máximo ocorre em  $\cos(\omega t) = 1$ . Assim, os dados da Tabela 2 representam somente a dependência exponencial no tempo, como representa a equação 5:

$$a_x(t) = a \cdot \exp(-t/\tau) \quad (5)$$

Tomando o logaritmo natural de ambos os lados da equação (5), obtém-se:

$$\ln[a_x(t)] = \ln[a] - t/\tau \quad (6)$$

O próximo passo foi obter a constante de amortecimento,  $\tau$ . A metodologia aplicada consiste em obter a constante  $\tau$  por regressão linear da equação (6), através de métodos gráficos de ajuste de curva do software Origin®.

A Figura 5 mostra o gráfico da função  $y = A + B t$ , onde  $y = \ln[a_x(t)]$ ,  $A = \ln[a]$  e  $Bt = -t/\tau$ .

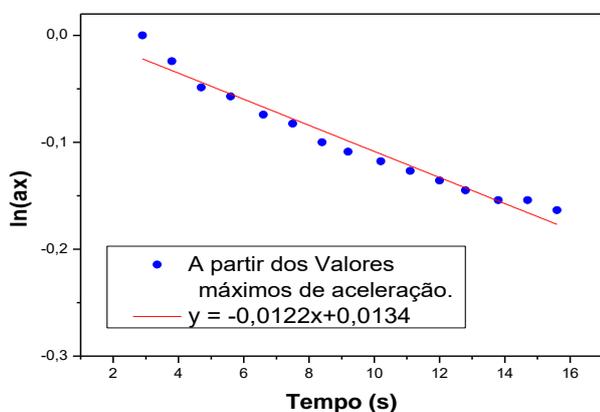


Figura 5 – Obtenção constante de amortecimento.

O gráfico da Figura 5 considera apenas valores máximos de aceleração, mostrados na Figura 4. Não se considera a dependência cíclica, sendo mostrada somente a dependência exponencial (amortecimento).

A expressão da regressão linear obtida por recursos de planilha do Excel apresentada na figura 5 é:

$$y = -0,0122x + 0,0134 \quad (7)$$

Comparando (6) e (7):  $B = 1/\tau$ ;  $\tau = (1/0,0122)s = 81,9s$ .

A partir da constante de amortecimento  $\tau = 81,9s$ , pode-se estimar a duração do movimento considerando-se cinco vezes a constante de amortecimento. Neste caso estima-se em  $5\tau = 409,3s$ , como o tempo necessário para cessar o movimento oscilatório amortecido.

O período de oscilação medido experimentalmente,  $T = 0,90s$ , obtido com a contagem de oscilações sem amortecimento do cabo é usado como referência para comparar com o valor que pode ser obtido através de medidas com o acelerômetro. A tabela 2 mostra que o valor médio dos valores da coluna  $\Delta t(s)$  é igual a  $0,91s$ , que é da ordem de grandeza com o valor obtido por medida direta.

## 5. Conclusões

Neste trabalho, foram aplicadas diversas áreas de conhecimento relacionadas às áreas de ciências e de tecnologia: programação de microcontroladores, sensores, ferramentas matemáticas e gráficas e o uso de modelos teóricos para testar dados experimentais. Embora não se tenha modelado efeitos não lineares como o atrito, os dados obtidos mostraram que o fator de amortecimento na oscilação do sistema massa-mola,

poderia orientar aplicações automatizadas em sistemas onde houvesse amortecimento. Como por exemplo, a determinação de viscosidade de líquidos.

Ainda nesses experimentos, os efeitos do atrito podem ser minimizados por arranjos físicos nos experimentos e por transmissão remota de dados do Arduino para o computador pessoal por ondas de rádio, como WIFI, Bluetooth, entre outras. Estas serão propostas para futuras aplicações. No entanto, estes aspectos, não inviabilizam o enfoque dado ao trabalho que é o de analisar os dados experimentais de aceleração obtidos por acelerômetros para aplicações que possam fazer uso destes recursos. Pode ser salientado que os dados obtidos pelo Arduino 101 não dependem da natureza do experimento ou da aplicação. Talvez haja algum erro nos dados fornecidos pelo dispositivo Arduino 101 devido ao seu aquecimento natural.

Medidas de aceleração podem ser direcionadas para situações que envolvam a caracterização de movimento de corpos. Um caso típico é a área de educação onde se aplicaria métodos numéricos para se calcular a velocidade de um corpo em movimento a partir de dados experimentais de aceleração. A seguir, o deslocamento poderia ser determinado a partir da velocidade obtida previamente.

Existem diversas possíveis aplicações quando o movimento de um corpo pode ser caracterizado pela determinação de sua velocidade e deslocamento no tempo. Exemplos.

Na área de saúde, para se acompanhar a evolução de tratamento de pacientes com dificuldades motoras. Neste caso, poderia se montar um banco de dados com deslocamento do acelerômetro ao longo de um período;

Na área de educação, no teste de metodologias de solução de equações diferenciais para testes de modelos teóricos que melhor se apliquem aos problemas reais e o grau de confiabilidade nos experimentos.

Quanto à realização dos experimentos, existem dificuldades inerentes ao dispositivo e material utilizado.

Com referência ao dispositivo acelerômetro, pode-se citar que são produzidos em larga escala, assim como a dificuldade inerente à fabricação de dispositivos MEMS. Como exemplo de dificuldade: o valor fornecido pelo acelerômetro em repouso sempre mostra ruídos. O eixo montado na vertical deveria ter valor fixo e igual a 1. Este valor nunca é fixo na unidade e nem em um valor próximo da unidade. Há sempre variações em torno da unidade. Há necessidade de mecanismos para atenuação destes desvios. O mesmo efeito ocorre para os eixos transversais ao eixo normal que deveriam ter valores próximos a zero. A figura 4 mostra esses efeitos.

O modelo para oscilação de uma mola sem amortecimento mostra restrições por questões operacionais e de material. Além da própria geometria da esfera que oferece efeito de atrito viscoso com o ar, há também, a deformação da mola e não é considerado o efeito do cabo. No entanto, estes fatores não fogem ao objetivo do trabalho que é o de avaliar os dados do acelerômetro em movimento.

Um recurso importante usado neste trabalho é a interface PLX-DAQ que possui recursos para receber dados seriais e armazenamento em formato de planilhas. Este mecanismo permite realização e análise de aplicações em tempo real de experimentos que envolvam a aquisição de dados analógicos.

Os resultados obtidos indicam a possibilidade de uso do Arduino 101 em aplicações que usem medidas de aceleração desde que se considerem suas restrições de ruído, entre outras.

## *Agradecimentos*

Ao auxiliar docente Julio Francisco Rodrigues de Souza (DTI-Fatec-SP).

## *Referências Bibliográficas*

- [1] **An Introduction To MEMS.** In: [http://www.lboro.ac.uk/microsites/mechman/research/ipm-ktn/pdf/Technology\\_review/an-introduction-to-mems.pdf](http://www.lboro.ac.uk/microsites/mechman/research/ipm-ktn/pdf/Technology_review/an-introduction-to-mems.pdf). Acesso em: 03 mar 2018.
- [2] **Arduino-101-Primeiro-Circuito-Eletronico-Com O-Modulo-Intel Curie.**In:<https://www.tecmundo.com.br/intel/88142-arduino-101-primeiro-circuito-eletronico-o-modulo-intel-curie.html>. Acesso em: 09 mar 2018.
- [3] NADEO, E. C. et. al.; **Metodologia Para Estudo E Análise De Dados De Aceleração Em Um Plano Inclinado Obtidos Através Da Plataforma Arduino 101.** Faculdade de Tecnologia de São Paulo – FATEC-SP, Boletim técnico da FATEC 1034, São Paulo, 2017.
- [4] TELLES, D. MONGELLI, J.; **Física com Aplicação Tecnológica. Vol. 2 – Oscilações, Ondas, Fluidos e Termodinâmica.** São Paulo: Edgard Blucher, 2013.
- [5] PLX-DAQ. In: <https://www.parallax.com/downloads/plx-daq>. Acesso em: 02 mar 2018.
- [6] KITTEL, C. et. al. **Curso de Física de Berkeley – volume 1 – Mecânica.** Editora Edgar Blucher. Brasília, pag. 203, 1973.