

[illegible]

## ÍNDICE

### Sumário

1. Introdução.....	4
2. Objetivos.....	5
3. Características Estáticas e Dinâmicas de Instrumentos .....	6
4. Coleta de dados com a placa NI USB-6008 .....	10
5. Atividades .....	14

## Índice de ilustrações

Figura 1 – Sinal analógico (a) e seu valor discretizado no tempo com período $T_s$ (b) .....	7
Figura 2 – Sinal analógico amostrado com diversas periodicidades. $T_{a1} < T_m$ (a), $T_{a2} = T_m$ (b) e $T_{a3} > T_m$ (c) .....	8
Figura 3 – Tela do ícone <i>Data Acquisition</i> .....	10
Figura 4 – Tela inicial do <i>Data Acquisition</i> .....	10
Figura 5 – Identificação da placa como Dev3.....	11
Figura 6 – Definição das características do hardware utilizado.....	11
Figura 7 – Detalhes utilizado para aquisição de dados. ....	12
Figura 8 – Código em MATLAB para coleta de 10000 pontos numa frequência de 10000Hz. .	14

## 1. Introdução

São denominados de sensores os dispositivos que convertem uma grandeza física de qualquer espécie em outro sinal que possa ser transmitido a um elemento indicador, para que este mostre o valor da grandeza que está sendo medida ou que seja inteligível para o elemento de comparação de um sistema de controle. Os elementos sensores são denominados transdutores quando convertem a grandeza de entrada para uma grandeza elétrica, como corrente, tensão ou resistência elétrica.

Como existem sinais analógicos e sinais discretos a serem controlados num sistema, os sensores também devem indicar variações de grandezas analógicas e discretas.

- Sinal discreto ou digital: sinal quantificado que indica a existência ou não de um evento. Pode assumir os valores zero ou um ou uma combinação destes.
- Sinal analógico: sinal cuja informação pode assumir qualquer valor dentro de uma determinada faixa (*range*).

Portanto podem-se classificar os sensores de acordo com a natureza do sinal de saída em:

- Sensores discretos: Os sensores discretos são utilizados para monitorar a ocorrência ou não de um determinado evento. Apresentam em sua saída dois estados distintos como ligado (*on*) ou desligado (*off*) ou a presença ou ausência de determinada grandeza elétrica.
- Sensores analógicos: são utilizados para monitorar uma grandeza física em uma faixa contínua de valores estabelecidos entre os limites mínimo e máximo. Apresentam em sua saída um sinal de tensão ou corrente ou resistência proporcional a grandeza física sensoriada.

Um sistema de medição, devido aos seus diversos elementos, sempre apresenta incertezas nos valores medidos.

Todo sistema de medição está sujeito a incertezas (erros de medição), e o que torna um sistema melhor em relação ao outro é a diminuição deste erro em um nível que seja aceitável para uma aplicação específica.

## 2. Objetivos

Esta atividade prática tem como objetivo familiarizar o aluno com os tipos de erros de sinais harmônicos e periódicos.

Os objetivos específicos desse módulo são:

- 2.1) Fazer análise de espectro de frequência de sinais senoidais;
- 2.2) Fazer análise de espectro de frequência de sinais quadrados;
- 2.3) Analisar os erros encontrados nas amostras disponibilizadas.

### 3. Características Dinâmicas de Sinais de Instrumentos

Inicialmente vamos apresentar os principais termos utilizados na caracterização dinâmica de instrumentos.

**Relação Sinal/Ruído:** É a relação entre a potência de um sinal qualquer entregue na saída do instrumento e a potência do sinal de ruído, medida como o sinal de saída com informação de entrada nula. Isto é, se a amplitude da grandeza física medida for igual à zero, e o sensor entregar um sinal de uma amplitude determinada, esse sinal é considerado como ruído. Esta relação pode ser expressada também em termos percentuais ou em dB (decibéis), unidade que representa vinte vezes o logaritmo da relação sinal/ruído.

**Resposta em Frequência:** Qualquer sistema eletrônico que manuseia sinais elétricos tem suas limitações em frequência, isto é, sinais em determinadas frequências são reproduzidos e em outras não. Não é diferente no caso dos sensores. Se a grandeza física medida variar sua amplitude com uma determinada frequência, é possível que o sinal elétrico entregue pelo sensor reproduza essas mudanças com a amplitude adequada, mas se a frequência dessas mudanças na grandeza física aumentar, é possível que o sinal de saída entregue pelo sensor diminua sua amplitude em função da frequência dessas mudanças. Desta forma, define-se a resposta em frequência de um sensor como a faixa do espectro que este consegue reproduzir. O diagrama de Bode é usualmente utilizado para representar essa informação. Pela teoria de Bode, define-se a faixa de passagem, ou largura da faixa, como o intervalo de frequências em que, para uma determinada amplitude de entrada, a potência do menor sinal de saída é maior ou igual à metade da potência do maior sinal. Por consequência, a relação entre as amplitudes do menor sinal e o maior sinal é  $0,707 (1/\sqrt{2})$ , ou, expressado em decibéis, -3 dB.

Se vamos especificar um instrumento para medir uma variável controlada de dinâmica rápida, precisamos de um instrumento de medida com velocidade de resposta maior que a da variável medida, caso contrário, a dinâmica do instrumento poderá interferir consideravelmente na dinâmica do sistema de controle da malha, introduzindo atrasos e provocando oscilações na resposta.

#### *Comportamento Dinâmico*

A análise do comportamento dinâmico de um instrumento pode ser feita a partir de um modelo matemático e/ou a partir de dados provenientes de testes aplicados no instrumento. A caracterização dos principais tipos de resposta dinâmica é feita a partir

dos modelos matemáticos dos instrumentos, geralmente na forma de equações diferenciais. A ordem da equação diferencial define o tipo de resposta, por exemplo, de primeira ou de segunda ordem.

O sinal a ser analisado é, obrigatoriamente, digitalizado. A Figura 1 apresenta um sinal analógico (a) e seu sinal discretizado com periodicidade  $T_s$  (b).

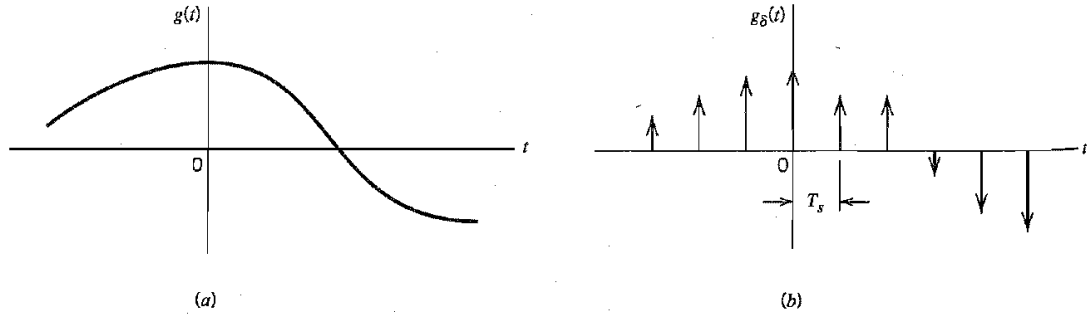


Figura 1 – Sinal analógico (a) e seu valor discretizado no tempo com período  $T_s$  (b)

Há de se destacar o Teorema de Amostragem de Nyquist, o qual define "um sinal limitado em frequência com energia finita, que não tem nenhuma componente espectral acima da frequência  $f_m$  [Hz], é descrito de maneira completa especificando-se os valores de sinal em instantes de tempo menores ou iguais a  $1/(2.f_m)$  segundos". Em outras palavras, pode-se escrever:

$$f_0 \geq 2 f_m \quad (3)$$

onde  $f_0$  é a frequência de amostragem e  $f_m$  é a frequência medida.

Da mesma forma "um sinal limitado em frequência com energia finita, que não tem nenhuma componente espectral acima da frequência  $f_m$  [Hz], pode ser completamente recuperado a partir do conhecimento de suas amostras tomadas à taxa de  $2.f_m$  amostras/segundos". Ou seja, numa análise do espectro de frequências, apenas frequências inferiores a  $f_0/2$  seriam devidamente detectadas pela amostra do sinal.

A taxa de amostragem de amostras /segundos, para uma largura de banda de  $f_m$  [Hz], é denominada "taxa de Nyquist" e seu inverso:  $T_m$  [segundos], é denominado "intervalo de Nyquist".

#### Erros de Amostragem

1) Erro de *Aliasing* ou Frequência Fantasma: Na prática os sinais não são estritamente limitados em banda, isso provoca sempre algum grau de subamostragem que provoca um efeito conhecido como *aliasing*, ou frequência fantasma, que pode ser entendido como um "sinal falso" ou "falsa informação", que surge quando a taxa de amostragem é inferior a taxa de Nyquist. Um

exemplo de erro de frequência fantasma ocorre quando  $f_0 < 2.f_m$ . Nesse caso, ao se aplicar uma transformada de Fourier no sinal obtido, uma frequência fantasma aparecerá antes de  $f_0/2$  com distante  $f_m - f_0/2$ , como se fosse a frequência  $f_m$  espelhada em  $f_0/2$ . A Figura 2 mostra um sinal senoidal sendo amostrado com taxas próximas ao limite de Nyquist. Nota-se claramente que no caso em que  $Ta1 < T_m$  é possível obter amostras capazes de identificar a frequência do sinal, porém, se a diferença for muito pequena, o valor da amplitude ficará comprometido. No caso em que  $Ta2 = T_m$  é possível notar que os valores de amostras se repetem e, caso se obtenha o valor onde a amostra é igual a zero, nada se poderá analisar. Caso contrário, será possível detectar apenas a frequência. No caso em que  $Ta3 > T_m$  será coletado amostras que identificarão um sinal totalmente distinto daquele desejado para ser amostrado. Para se evitar o efeito da frequência fantasma é altamente recomendável que seja colocado um filtro do tipo passa-baixa com frequência de corte igual ou inferior à frequência medida antes da captura do sinal.

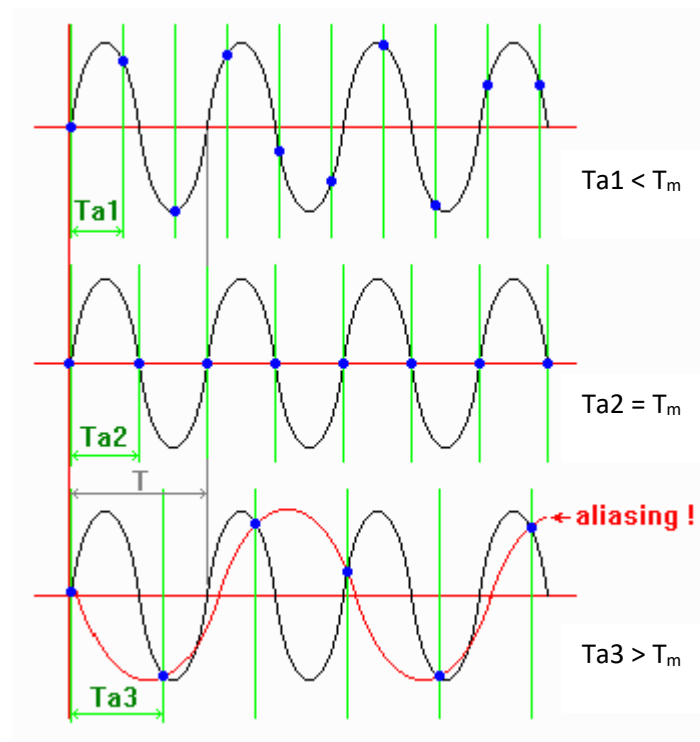


Figura 2 – Sinal analógico amostrado com diversas periodicidades.  $Ta1 < T_m$  (a),  $Ta2 = T_m$  (b) e  $Ta3 > T_m$  (c).

- 2) Erro de quantização: Há também o erro de quantização do sinal que depende do número de bits utilizados para obtenção da amostra. A Equação (4) apresenta a



fórmula para cálculo do erro de quantização. Como o sinal é discretizado, os valores coletados terão uma resolução mínima definida pelo erro de quantização.

$$Erro_{quantização} = \frac{1}{2^{\text{número de bits}}} \quad (4)$$

3) Erro de Vazamento: Além desses dois erros ainda existe o erro de vazamento, que ocorre quando a frequência a ser medida  $f_m$  não é múltipla da menor resolução de frequência, no caso,  $d_f$ , dado pela Equação (5).

$$d_f = \frac{f_m}{n} \quad (5)$$

onde  $n$  é o número de amostras coletadas.

É possível perceber que o valor da frequência de amostragem  $f_0$  e o número de amostras  $n$  deve ser especificado cuidadosamente para que o sinal amostrado possa ser útil no processo em que será utilizado.

## 4. Coleta de dados com a placa NI USB-6008

A coleta dos dados foi realizada com a placa NI USB-6008 por meio da porta USB do computador.

**Atenção:** É obrigatória a instalação do NI DAQ 16.0 para que o sistema operacional reconheça a placa, bem como instalar o *Data Acquisition Toolbox* para que o Matlab possa obter os dados da placa.

A partir daqui apenas MATLAB2014a ou mais atual será capaz de realizar os comandos.

Após adequar o software para uso desse hardware, pelo Matlab, ao se clicar em *Data Acquisition* é aberta a janela mostrada nas Figuras 3 e 4.

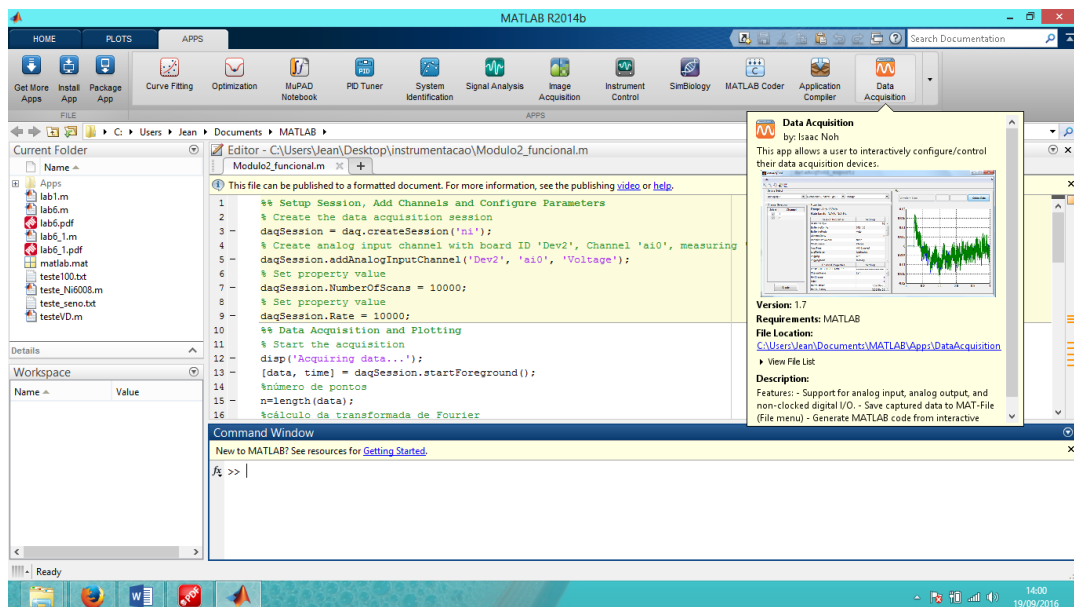


Figura 3 – Tela do ícone *Data Acquisition*

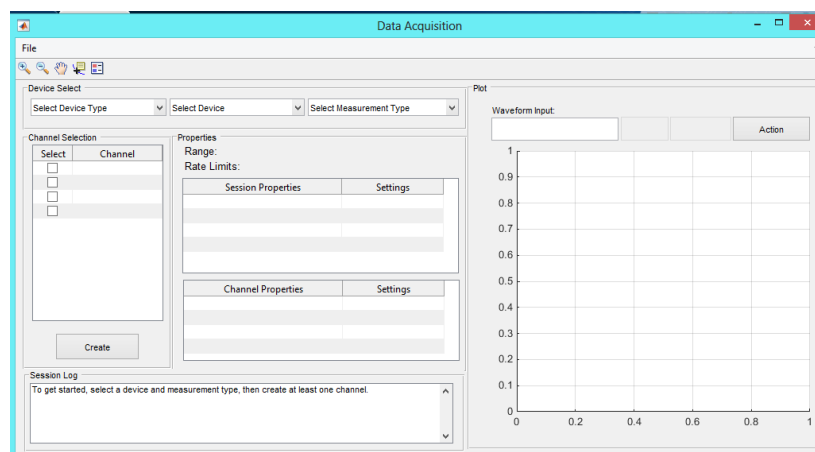


Figura 4 – Tela inicial do *Data Acquisition*

Ao se conectar via cabo USB o computador com a placa NI USB-6008, o mesmo será reconhecido como um DevX, onde  $X=1..n$ , sendo  $n \in \mathbb{N}$ . A Figura 5 apresenta a tela onde a placa foi identificada como Dev3.

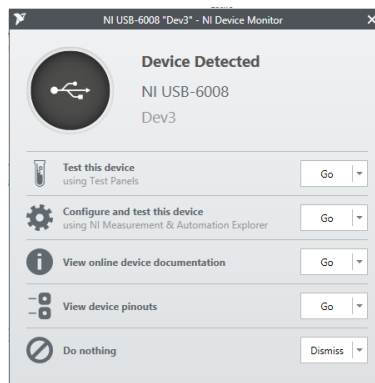


Figura 5 – Identificação da placa como Dev3

Ao se utilizar o *Data Acquisition* é necessário definir qual o tipo, dispositivo e medida a ser coletada. No caso desse módulo será utilizado *Analogic Input*, USB-6008(*Analogic Input*) e *Voltage*. Além disso, deve-se identificar qual entrada analógica será utilizada, a saber, *a0* (Figura 6).

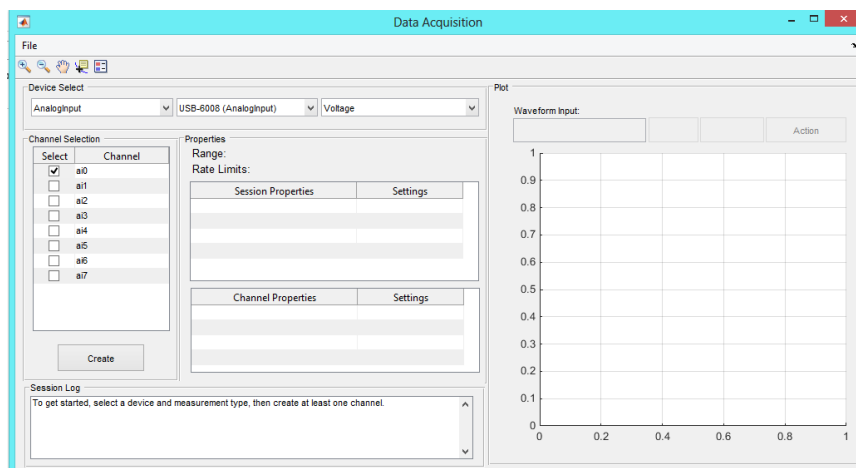


Figura 6 – Definição das características do hardware utilizado

Basta clicar em *Create* para definir as características da aquisição de dados. Os dois parâmetros que serão utilizados e alterados serão *Numbers of Scans* (ou número de amostras) e *Rate* (ou frequência). A Figura 7 apresenta esses detalhes.

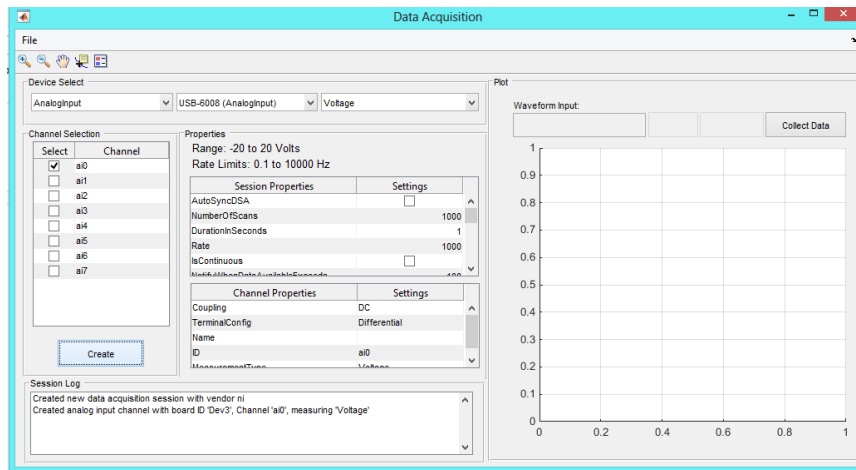


Figura 7 – Detalhes utilizado para aquisição de dados.

Para se adquirir os dados é só clicar em *Collect Data*. Os dados coletados podem ser salvos em arquivos por meio de *File -> Save Data*.

Figura 8 – Código em MATLAB para coleta de 10000 pontos numa frequência de 10000Hz.

```
% Setup Session, Add Channels and Configure Parameters
% Create the data acquisition session
daqSession = daq.createSession('ni');
% Create analog input channel with board ID 'Dev2', Channel 'ai0',
measuring 'Voltage'
daqSession.addAnalogInputChannel('Dev2', 'ai0', 'Voltage');
% Set property value
daqSession.NumberOfScans = 10000;
% Set property value
daqSession.Rate = 10000;
%% Data Acquisition and Plotting
% Start the acquisition
disp('Acquiring data...');
[data, time] = daqSession.startForeground();
%número de pontos
n=length(data);
%obtenção da frequência de amostragem
dt1=time(1,1);
dt2=time(2,1);
dt=dt2-dt1;
f=1/dt;
%variação de frequência
df=f/n;
%vetor de frequências
f1=0:df:(n-1)*df;
```

Outra solução é criar arquivo do tipo MATLAB ao clicar em *File -> Generate MATLAB Code*. A Figura 8 mostra um código do MATLAB para aquisição de 10.000 dados com frequência de aquisição de 10.000Hz.

Note que os dados serão gravados no vetor *data*, e o tempo que cada um foi adquirido está no vetor *time*. Esses dados podem ser gravados em arquivo do tipo txt (ver módulo 1).

O cálculo da média e desvio desses vetores pode ser feito por meio dos seguintes comandos:

```
mediaData = mean(data); % calcula a média dos dados coletados
desvData = std(data); % calcula o desvio dos dados coletados
```

Também é possível calcular achatamento (*kurtosis*), assimetria (*skewness*) e o intervalo da amostra, conforme já ensinado no módulo 1.

O intervalo de confiança pode ser calculado pelos seguintes comandos:

```
t = tinv((1+α)/2, n-1); % calcula o valor de t student
D=t*desvData/sqrt(n) % calcula a variação do intervalo de confiança
```

A transformada de Fourier utiliza do comando :

```
X=fft(data,n)*2/n; %cálculo da transformada de Fourier
```

Para plotar os resultados obtidos, utilize os seguintes comandos:

```
% Plot the acquired data in a new figure window
figure(1);
plot(time, data);
title('Dados Originais Coletados em função do tempo')
%Plota o espectro de frequências
figure(2);
plot(f1,abs(X));
title('Espectro de Frequência')
```

Para se concluir o código é necessário fechar o objeto *daqSession* com os seguintes comandos:

```
daqSession.release();
delete(daqSession);
clear daqSession;
```

## 5. Atividades

### Relatório (6 Pontos)

- a) Faça análise de espectro de um sinal senoidal e outra de um sinal quadrático com  $V_{pico}$  a pico de 5V e de frequência e parâmetros de amostragem indicada na Tabela 1. (2,5 pontos)

Tabela 1: Quadro de Frequências de Sinal e Amostragem

Tipo	Frequência Sinal $5V_{pk-pk}$	Frequência de Coleta	Número de Amostras	df
Senoidal	2KHz	10KHz	100000	0,1 Hz
	2KHz		1024	9,76562Hz
	8KHz		100000	0,1 Hz
Quadrada	2KHz	10KHz	10000	1 Hz
	2KHz		1024	9,76562Hz

- b) Refaça a atividade utilizando os dados com o filtro passa baixa. Avalie os efeitos de *aliasing* (fantasma) e vazamento (2,5 pontos).
- c) Sabendo que a placa da National tem 12 bits, calcule o erro de quantização. (1 pontos)