

## PMR3409 Controle II - Experiência 1: Aquisição de sinais e algoritmo FFT

Nome: _____ NUSP: _____ Turma: _____			NOTA
<b>Alunos do grupo</b>			
1. Nome: _____ NUSP: _____ Turma: _____			
2. Nome: _____ NUSP: _____ Turma: _____			
Data: ____/____/____ Reposição? ( ) S ( ) N			

**O relatório deve ser feito individualmente. Em seguida deve ser escaneado e o arquivo PDF deve ser submetido via Sistema Moodle.**

### 1 No seu computador

- Faça o login como usuário ALUNO,
- Crie um subfolder para o seu grupo no folder Alunos (Você pode ter acesso a esse folder através do Desktop),
- Todos os arquivos necessários podem ser baixados do sistema Moodle.

### 2 Amostrando sinais através da placa de aquisição

Inicialmente será realizado um experimento para verificação do funcionamento de um sistema de aquisição de dados como ilustrado na Figura 1. A montagem experimental necessária já deve estar pronta em sua bancada. Caso não esteja comunique ao professor.

Será utilizado o script `adda.m`. O script realiza uma leitura de dado através do canal de entrada A/D de uma tensão analógica proveniente do gerador de funções e transforma esse valor numa representação digital. Em seguida escreve esse valor no canal de saída D/A. Essas operações são repetidas numa taxa equivalente à frequência de amostragem  $f_a$ . No osciloscópio podem ser observados o sinal do gerador de funções e o sinal do canal de saída.

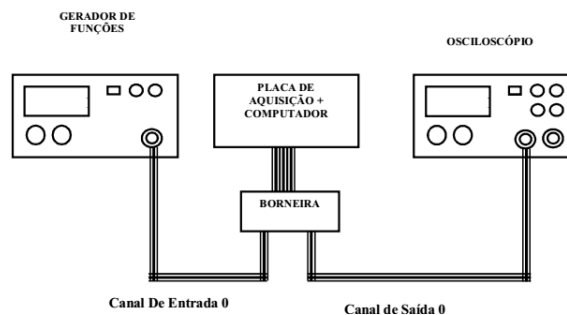
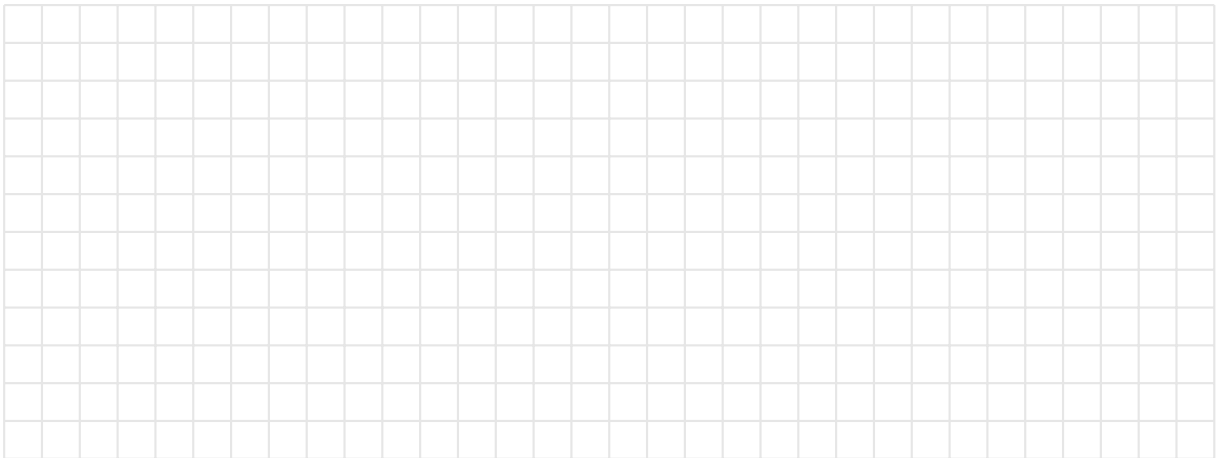


Figura 1: Diagrama esquemático das ligações.

Figura 1: Montagem experimental.

1. Utilizar o arquivo script `adda.m`
2. Selecione no gerador de funções uma onda senoidal de frequência  $f_s$  entre 5Hz
3. No arquivo script `adda.m` escolha uma frequência de amostragem, por exemplo,  $f_a = 80\text{Hz}$ .
4. Esboce no espaço abaixo as formas de onda observadas no osciloscópio:

## Experiência 1



5. Varie a frequência de amostragem  $f_a$ . Descreva o efeito observado.
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
6. Qual a relação entre a frequência de amostragem  $f_a$  e os patamares horizontais observados na forma de onda do canal de saída D/A ?
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
7. A forma de onda do canal de saída D/A apresenta um atraso em relação à onda de entrada. Apresente uma justificativa.

### 3 Cálculo analítico dos espectros de frequência dos sinais

Calcule as expressões analíticas dos espectros de frequência teóricos para a lista dos espectros abaixo. OBS: Utilize uma frequência genérica  $\omega_0$ .

- Onda senoidal:

- Onda quadrada:

- Onda triangular:

## 4 Estimação dos espectros de frequência dos sinais amostrados através do algoritmo FFT

### 4.1 Desenvolvimento de script para FFT

Nessa seção será utilizado o algoritmo denominado Transformada Rápida de Fourier mais conhecido como algoritmo FFT (Fast Fourier Transform). O algoritmo FFT é um algoritmo de transformada de Fourier discreta (DFT) que calcula os espectros de frequência através de amostras do domínio do tempo discreto.

Será utilizado o script `acquisicao.m` que realiza a amostragem de uma tensão senoidal fornecida pelo gerador de funções. O script realiza a aquisição de um array de pontos e os coloca na variável `data`. No script é necessário selecionar a frequência de amostragem  $f_a$  e o tempo de duração de aquisição `duration`.

Será necessário desenvolver um script para cálculo do espectro do sinal utilizando a função do Matlab `fft()`. Um guia para o desenvolvimento desse script é disponibilizado no arquivo `TutorialFFT.html`. Utilize como base o script que gera a escala frequência no intervalo  $[-\frac{f_a}{2}, +\frac{f_a}{2}]$ .

### 4.2 Parte experimental

1. Onda senoidal:

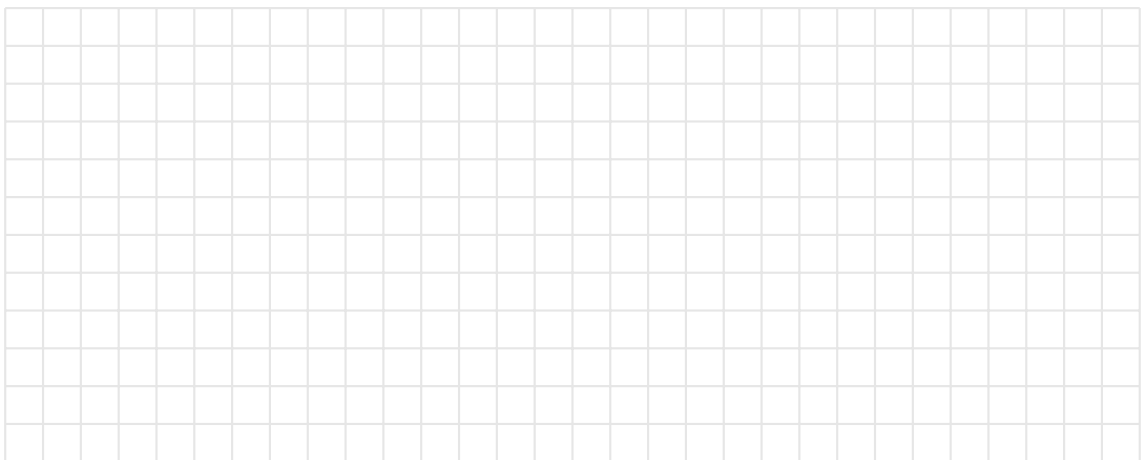
## Experiência 1

- Selecione no gerador de funções uma onda senoidal de frequência  $f_s = 10\text{Hz}$  como amplitude pico a pico no intervalo  $[-5V, +5V]$ .
- Utilize o script `aquisicao.m`. Selecione uma frequência de amostragem  $f_a=100\text{Hz}$  e tempo de duração `duration=5s`.
- Não é necessário utilizar todos os pontos que foram armazenados na variável `data`. É possível selecionar um subarray da seguinte forma `data(inicio:fim)` onde `inicio` é o índice da posição do array onde se inicia o subarray e `fim` é o índice onde o subarray termina.
- O índice `inicio` deve ser tal que coincide com o início de um ciclo positivo da onda senoidal (lembre-se da definição da função seno). Caso contrário a fase do espectro será estimada erroneamente. Muitas vezes não há um ponto de início adequado.
- Esboce os gráficos obtidos no espaço abaixo (Alternativamente você pode utilizar a impressora):

(a) Domínio do tempo



(b) Domínio da frequência



Na prática, o resultado da estimação do espectro de frequências de uma onda senoidal não é perfeito como no exemplo ilustrado no arquivo `TutorialFFT.html`. Várias razões podem ser apresentadas: a forma de onda do gerador pode não ser perfeitamente senoidal (podendo haver imperfeições na forma de onda e variações na frequência do sinal), a frequência de amostragem pode não se manter constante devido a interferências do hardware e software e ruídos de baixa e alta frequências podem estar adicionados.

A estimação da fase é particularmente mais sensível porque devido ao cálculo numérico os valores do espectro estimado para todas as frequências tende a valores insignificantes mas diferentes de zero. Dessa forma é necessário a utilização do parâmetro de tolerância `tol` como utilizado nos exemplos apresentados no arquivo `TutorialFFT.html`.

Nesse exemplo, a utilização de um parâmetro de tolerância em torno `tol=0.5` é necessário para isolar apenas o componente principal. Esse parâmetro serve apenas como um recurso para evidenciar o componente principal ou componentes principais quando necessário. No gráfico do módulo pode ser percebido que em torno do componente principal outros componentes eventualmente significativos podem ser observados.

Responda as seguintes questões:

## Experiência 1

(a) Diminua a frequência de amostragem para  $f_a=50\text{Hz}$ . Quais os efeitos observados ?

(b) Diminua o tempo de duração  $\text{duration}=1\text{s}$  (diminuição do número de pontos utilizados para estimação). Quais os efeitos observados ?

### 2. Onda quadrada:

- Selecione no gerador de funções uma onda quadrada de frequência  $f_s = 10\text{Hz}$  com amplitude pico a pico no intervalo  $[-5V, +5V]$ .
- Utilize o script `aquisicao.m`. Selecione uma frequência de amostragem  $f_a=100\text{Hz}$  e tempo de duração  $\text{duration}=5\text{s}$ .
- Selecione um subarray da variável `data` tal que o primeiro elemento coincida com o início de um ciclo positivo da onda quadrada. Caso contrário a fase do espectro será estimada erroneamente.
- Esboce os gráficos obtidos no espaço abaixo (Alternativamente você pode utilizar a impressora):

(a) Domínio do tempo



(b) Domínio da frequência



### 3. Onda triangular:

- Selecione no gerador de funções uma onda triangular de frequência  $f_s = 10\text{Hz}$  com amplitude pico a pico no intervalo  $[-5V, +5V]$ .

## Experiência 1

- Utilize o script `aquisicao.m`. Selecione uma frequência de amostragem  $f_a=10\text{Hz}$  e tempo de duração `duration=5s`.
- Selecione um subarray da variável `data` tal que o primeiro elemento coincida com o início de um ciclo positivo da onda triangular. Caso contrário a fase do espectro será estimada erroneamente.
- Esboce os gráficos obtidos no espaço abaixo (Alternativamente você pode utilizar a impressora):

(a) Domínio do tempo



(b) Domínio da frequência



### 4.3 Análise

Compare os resultados experimentais com os resultados obtidos pelo cálculo analítico dos espectros

## **5 Discussões**

## **6 Conclusões**