

PME2451 Medição de Grandezas Mecânicas

Aulas de Laboratório

2005

Aulas de Laboratório

Objetivos: reforçar alguns dos conceitos vistos nas aulas de teoria, motivar o aluno e familiarizá-lo com alguns equipamentos de medição.

Esquema: a turma será dividida em 6 grupos, e cada grupo, em cada aula, desenvolverá uma atividade até se completar as 6 atividades previstas.

Atividade: cada atividade terá uma parte a ser desenvolvida durante a aula de laboratório, e mais um complemento a ser realizado fora do horário de aula (que inclui basicamente o processamento dos resultados e a confecção do relatório).

Relatório: os relatórios devem ser entregues em papel A4, na data estabelecida no cronograma (em geral prazo de 7 dias), exceto eventual reposição de aula, quando o relatório deve ser entregue em até **48 horas** após o término do experimento. O relatório deve conter:

- Capa, com título da disciplina, título do experimento, data e horário de execução do experimento, lista dos integrantes do grupo com nome completo, nº USP, e-mail e **assinatura**. O aluno somente receberá a nota correspondente se esteve presente na data de execução do experimento, participando ativamente, e assinando a lista de presença, e se sua assinatura estiver também na capa do relatório.
- Introdução, que inclui revisão da literatura, motivação e objetivos do experimento (**técnicos apenas, não coloque as motivações e os objetivos didáticos!**). A revisão da literatura deve incluir a base teórica para os cálculos eventualmente realizados, e informações teóricas e práticas sobre os sensores e principais equipamentos usados no experimento (princípios de funcionamento, aplicações, etc.).
- Materiais e métodos, que inclui a descrição dos equipamentos usados (tipo, modelo, marca, especificações técnicas, etc.), descrição dos procedimentos experimentais, e esquemas e figuras que facilitem o entendimento da montagem experimental.
- Resultados, onde se apresentam as condições do experimento (as regulagens usadas nos equipamentos, as escalas usadas, data, horário, temperatura ambiente, etc., ou seja, todas as informações disponíveis e que julguem importantes para avaliar a consistência dos dados experimentais obtidos), e os resultados experimentais sem qualquer tratamento.
- Análise dos resultados, onde se apresentam os cálculos realizados sobre os dados para extração das informações necessárias para se atender aos objetivos do experimento, incluindo a filtragem e tratamento dos dados experimentais.
- Conclusões, que inclui as principais conclusões do trabalho (**apenas as conclusões técnicas, não coloque as conclusões didáticas!**).
- Anexos, com os materiais que o grupo julgar relevantes (como catálogos técnicos sobre os equipamentos usados, etc.).

Observação: o relatório não poderá exceder 20 folhas de papel A4, incluindo as capas e anexos. Apenas a frente das folhas deve ser usada na impressão, deixando o verso em branco.

Cronograma:

Data	Turma 24 A 13:10-14:50	Turma 64 A 16:50-18:30	Turma 44 B 13:10-14:50	Turma 84 B 16:50-18:30
09 de março			Aula 0	Aula 0
16 de março	Aula 0	Aula 0		
23 de março	<i>Semana Santa</i>	<i>Semana Santa</i>	<i>Semana Santa</i>	<i>Semana Santa</i>
30 de março			Aula 1	Aula 1
06 de abril	Aula 1	Aula 1	Entrega do relatório 1	Entrega do relatório 1
13 de abril	Entrega do relatório 1	Entrega do relatório 1	Aula 2	Aula 2
20 de abril	Aula 2	Aula 2	Entrega do relatório 2	Entrega do relatório 2
27 de abril	Entrega do relatório 2	Entrega do relatório 2	Aula 3	Aula 3
04 de maio	Aula 3	Aula 3	Entrega do relatório 3	Entrega do relatório 3
11 de maio	Entrega do relatório 3	Entrega do relatório 3	Aula 4	Aula 4
18 de maio	Aula 4	Aula 4	Entrega do relatório 4	Entrega do relatório 4
25 de maio	Entrega do relatório 4	Entrega do relatório 4	Aula 5	Aula 5
01 de junho	Aula 5	Aula 5	Entrega do relatório 5	Entrega do relatório 5
08 de junho	Entrega do relatório 5	Entrega do relatório 5	Aula 6	Aula 6
15 de junho	Aula 6	Aula 6	Entrega do relatório 6	Entrega do relatório 6
22 de junho	Entrega do relatório 6	Entrega do relatório 6	Aula 7	Aula 7
29 de junho	Aula 7	Aula 7		

Atividades:

- 1 – Simulação de sistemas dinâmicos (Simulação).
- 2 – Resposta transitória de sistema de 1ª ordem (Termômetro).
- 3 – Resposta transitória de sistema de 2ª ordem (Sensor indutivo).
- 4 – Resposta em frequência (Circuito RC).
- 5 – Amostragem de sinal (Aquisição de sinais).
- 6 – Análise de sinal (Acelerômetro).

1 – Simulação de sistemas dinâmicos:

Objetivo: reforçar os principais conceitos vistos nos experimentos, por meio de exercícios em computador, usando principalmente simulação numérica. Como ocorre antes de alguns experimentos e depois de outros, pode servir como reforço do aprendizado ou como motivação para, posteriormente, verificar-se experimentalmente alguns dos resultados vistos em simulação. Por sua peculiaridade, o esquema do relatório deve ser devidamente adaptado, pois não há dados a serem obtidos experimentalmente, nem equipamentos a serem descritos.

2 – Resposta transitória de sistema de 1ª ordem:

Objetivo: determinar a constante de tempo de um termômetro de resistência.

Outros tópicos a serem abordados: termômetro de resistência, filtragem e condicionamento de sinal, uso de gráficos para cálculos, uso de osciloscópio digital.

3 – Resposta transitória de sistema de 2ª ordem:

Objetivo: determinar a frequência natural e o coeficiente de amortecimento do primeiro modo de vibração de uma viga engastada, usando-se um sensor indutivo para medir o deslocamento da extremidade livre da viga.

Outros tópicos a serem abordados: aquisição de sinal usando a placa de som de um microcomputador, sensor indutivo “analógico”, filtragem digital de sinais.

4 – Resposta em frequência:

Objetivo: levantar a curva de resposta em frequência de um circuito RC usando um osciloscópio analógico e o modo XY de visualização dos sinais.

Outros tópicos a serem abordados: osciloscópio analógico, figuras de lissajous, uso de gerador de funções.

5 – Amostragem de sinal:

Objetivo: verificar experimentalmente o efeito da frequência de amostragem em relação à faixa de frequência do sinal experimental a ser amostrado.

Outros tópicos a serem abordados: uso de gerador de funções, aquisição de sinal usando a placa de som de um microcomputador, análise de sinal usando transformada de Fourier.

6 – Análise de sinal:

Objetivo: obter e analisar o espectro em frequência do sinal de aceleração de um suporte de máquina rotativa.

Outros tópicos a serem abordados: acelerômetro piezolétrico, aquisição de sinal usando a placa de som de um microcomputador, análise de sinal usando transformada de Fourier, medição de velocidade de rotação usando sensor indutivo.

Aulas de laboratório:

Aula	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6
0	Introdução	Introdução	Introdução	Introdução	Introdução	Introdução
1	Simulação	Acelerômetro	Aquisição de sinais	Circuito RC	Sensor indutivo	Termômetro
2	Termômetro	Simulação	Acelerômetro	Aquisição de sinais	Circuito RC	Sensor indutivo
3	Sensor indutivo	Termômetro	Simulação	Acelerômetro	Aquisição de sinais	Circuito RC
4	Circuito RC	Sensor indutivo	Termômetro	Simulação	Acelerômetro	Aquisição de sinais
5	Aquisição de sinais	Circuito RC	Sensor indutivo	Termômetro	Simulação	Acelerômetro
6	Acelerômetro	Aquisição de sinais	Circuito RC	Sensor indutivo	Termômetro	Simulação
7	Reposição	Reposição	Reposição	Reposição	Reposição	Reposição

Avaliação

A nota de laboratório será a média aritmética das notas dos relatórios:

$$L = k \cdot (R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6) / 6$$

$$k = \begin{cases} 1 & \text{se todos os relatórios forem entregues e aceitos} \\ 0 & \text{se pelo menos 1 relatório não for entregue e aceito} \end{cases}$$

Simulação de sistemas dinâmicos (Simulação)

Simulação

Objetivos: reforçar os principais conceitos vistos nos experimentos, por meio de exercícios em computador, usando principalmente simulação numérica e o software SCILAB. Como ocorre antes de alguns experimentos e depois de outros, pode servir como reforço do aprendizado ou como motivação para, posteriormente, verificar-se experimentalmente alguns dos resultados vistos em simulação. Por sua peculiaridade, o esquema do relatório deve ser devidamente adaptado, pois não há dados a serem obtidos experimentalmente.

1 – Simulação de um sistema para uma entrada do tipo degrau.

Simular o seguinte sistema dinâmico, para uma entrada do tipo degrau e condições iniciais nulas:

$$G(s) = \frac{1}{(10s+1)(0,1s+1)}$$

Usando o gráfico de resposta a degrau obtido, determinar a constante de tempo do sistema, adotando como hipótese que este sistema pode ser aproximadamente representado por um modelo de 1ª ordem. Usar o método descrito na página 10, item 23. Discutir se a hipótese é aceitável.

2 – Simulação de um sistema livre para uma condição inicial não nula.

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = -100x_1 - x_2 \end{cases}$$

$$y = x_1$$

Condições iniciais:

$$x_1(0) = 10$$

$$x_2(0) = 0$$

Usando o gráfico de resposta, determinar a frequência natural e o coeficiente de amortecimento. Usar o método descrito na página 13, item 20. Verificar, com base no modelo matemático acima, os resultados obtidos.

3 – Filtragem de sinal:

Simular o seguinte sistema para a entrada especificada a seguir. Use condições iniciais nulas:

$$G(s) = \frac{1}{(0,1s+1)}$$

Entrada:

$$u(t) = 10\text{sen}(t) + \text{sen}(50t)$$

Comparar a saída com a entrada e discutir os resultados.

Mostrar que o modelo matemático acima pode representar o comportamento de um circuito elétrico RC.

4 – Resposta em frequência

Simular o sistema abaixo, de 1ª ordem, para entrada senoidal, e verificar os gráficos XY de saída pela entrada.

Determinar a fase e o ganho, usando as seguintes frequências das entradas senoidais:

0,1 rad/s, 0,2 rad/s, 0,5 rad/s, 1,0 rad/s, 2,0 rad/s, 8,0 rad/s e 10,0 rad/s.

$$G(s) = \frac{1}{s+1}$$

Plotar o diagrama de Bode do sistema, usando os dados de fase e ganho, e comparar com o obtido usando-se o comando do Scilab.

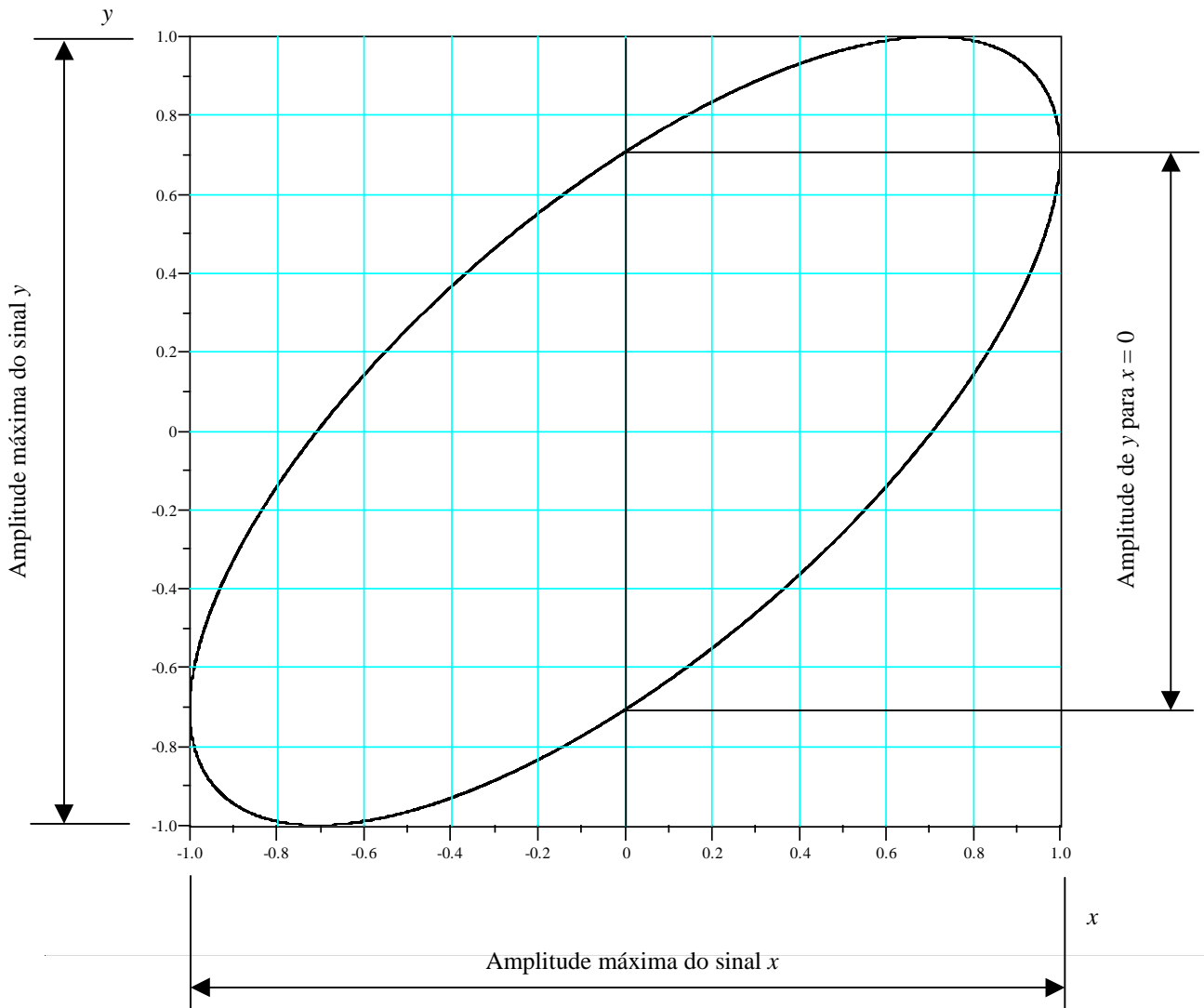
Exemplo:

```
t=0:0.01:100;
```

```
x=sin(t);
```

```
y=sin(t-(%pi/4));
plot2d(x,y,1,'051',rect=[-1,-1,1,1],max=[2,10,1,10]);
xgrid(4)
```

Observar que temos o sinal x, e o sinal y, defasado de $\pi/4$ rad, ou seja, 45°



Observar que:

$\text{sen } 45^\circ = 0,707$

$$\frac{\text{Amplitude de } y \text{ para } x = 0}{\text{Amplitude máxima de } y} = 0,7$$

O ganho, por definição, é (supondo que y seja a saída e x a entrada):

$$\frac{\text{Amplitude máxima de } y}{\text{Amplitude máxima de } x}$$

5 – Amostragem de sinal

Criar sinais senoidais, amostrá-los, e calcular a FFT. Verificar o efeito da frequência de amostragem no tempo e na FFT.

Exemplo:

```
// Definir uma frequencia de amostragem:
fa=1000; // frequencia de amostragem em Hz
// Determinar o intervalo de tempo da amostra:
t0=0;
tf=1;
// Determinar o vetor de instantes:
t=t0:(1/fa):tf;
// Determinar o sinais:
// Frequencias dos sinais:
fs1=0.01*fa;
fs2=0.10*fa;
x=sin(fs1*2*pi*t)+sin(fs2*2*pi*t);
//Plotar o grafico no tempo:
plot2d(t,x)
// Calcular a fft do sinal
y=fft(x,-1);
// Calcular a fft normalizada
N=max(size(t));
yn=y/N;
// Calcular o vetor de frequencias
f=0:(fa/N):(fa*(N-1)/N);
// Plotar o grafico da fft
xset("window",1);
plot2d(f(1:N/2),abs(yn(1:N/2)))
```

Observações:

- O gráfico foi construído usando-se apenas a metade do vetor de frequências, e as amplitudes dos picos são a metade das amplitudes dos sinais senoidais. Explicar estes fatos.
- Podemos reconstruir o sinal no tempo usando a transformada inversa. Observar que usando a sintaxe abaixo não é preciso usar o valor normalizado (o algoritmo já normaliza o resultado):

```
xr=fft(y,1); //xr deve ser identico a x
```

Repetir o exemplo supondo que a frequência do sinal seja:

```
fs1=0.01*fa;
```

```
fs2=1.10*fa;
```

Comentar os resultados.

6 – Escrever e editar o Relatório, de acordo com as instruções sobre relatórios (página 1 deste documento).

Resposta transitória de sistema de 1^a ordem (Termômetro)

TERMÔMETRO

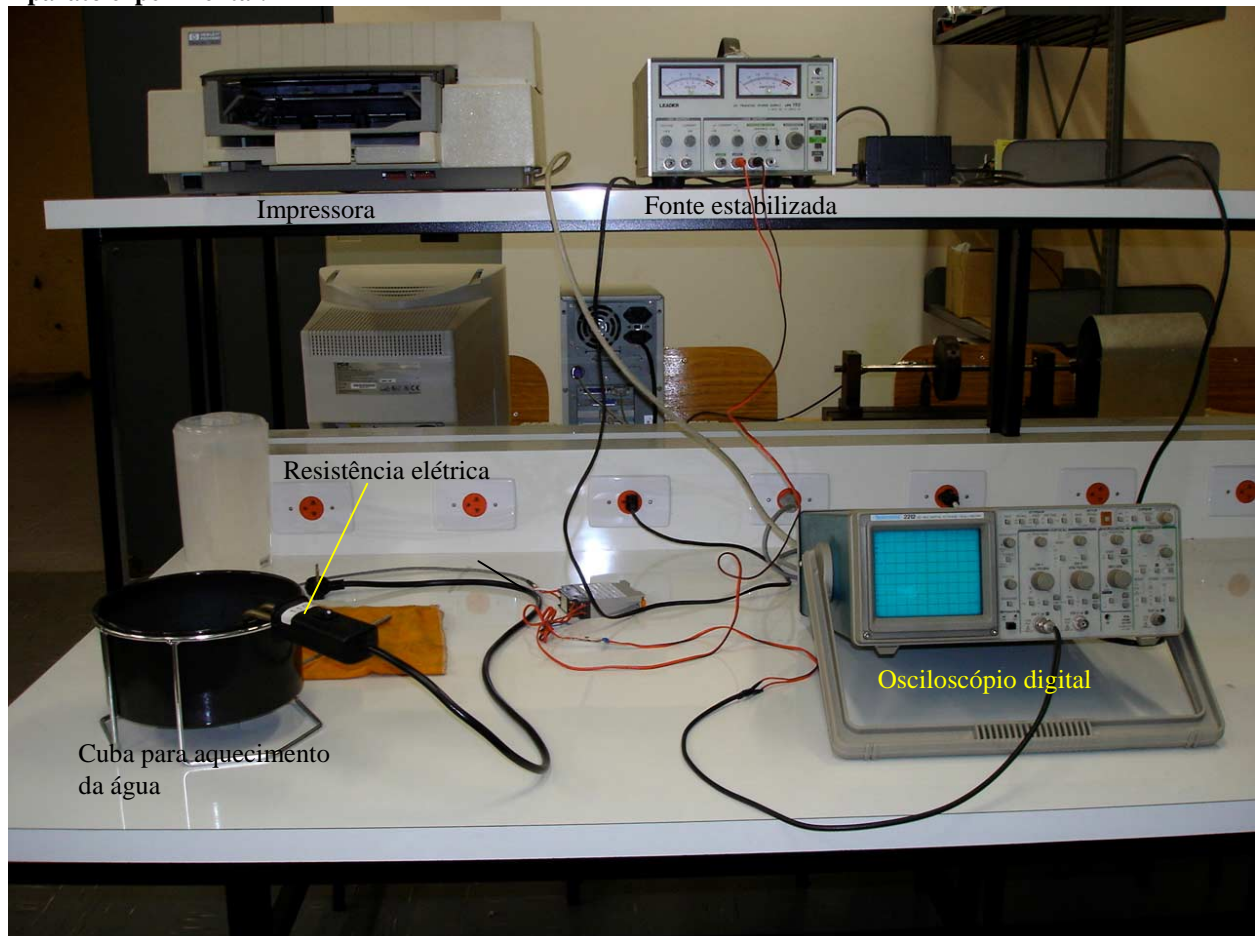
Objetivos:

Este experimento tem por objetivo principal o estudo da resposta transitória de um sistema de 1ª ordem, particularmente a determinação da constante de tempo.

Outros objetivos:

- Apresentar um sensor de temperatura de uso crescente na indústria: termômetros de resistência.
- Apresentar filtros analógicos para condicionamento de sinal.
- Apresentar condicionadores de sinal.
- Familiarização com a operação de um osciloscópio digital.
- Uso de gráficos para cálculos de parâmetros dinâmicos de sistemas de medição.

Aparato experimental:

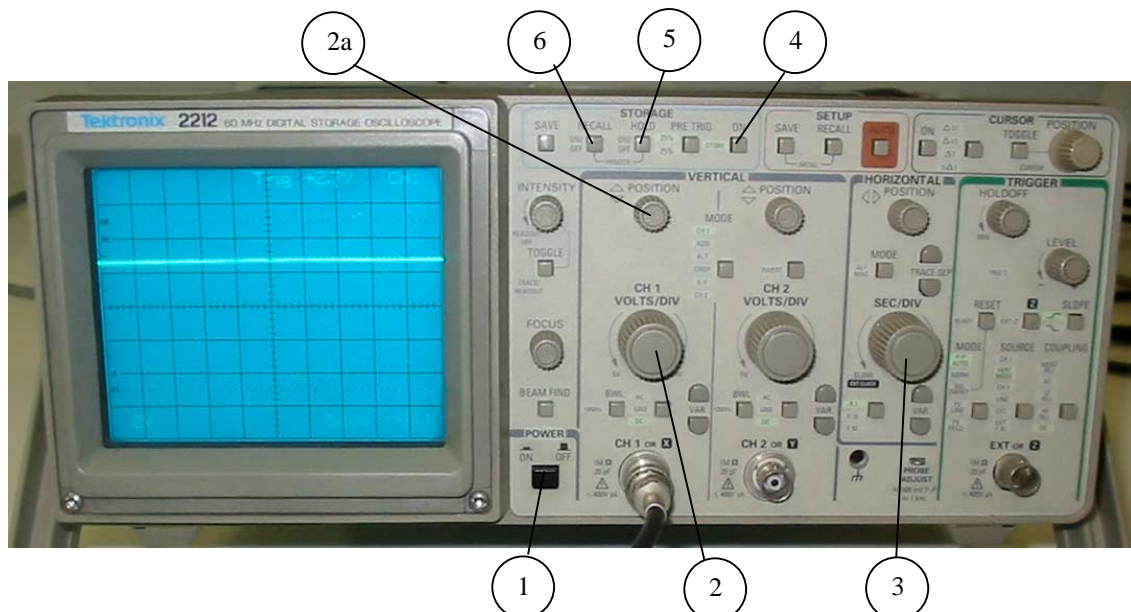
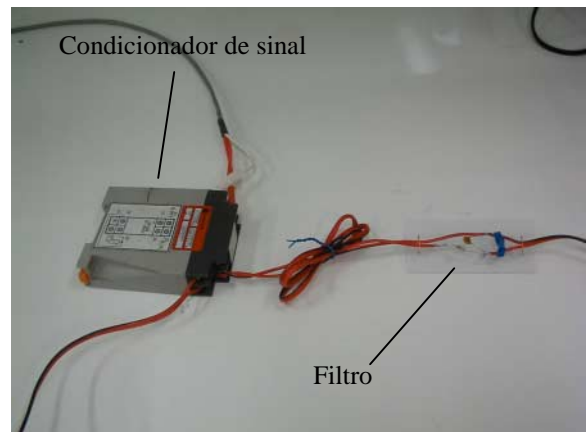


Instruções:

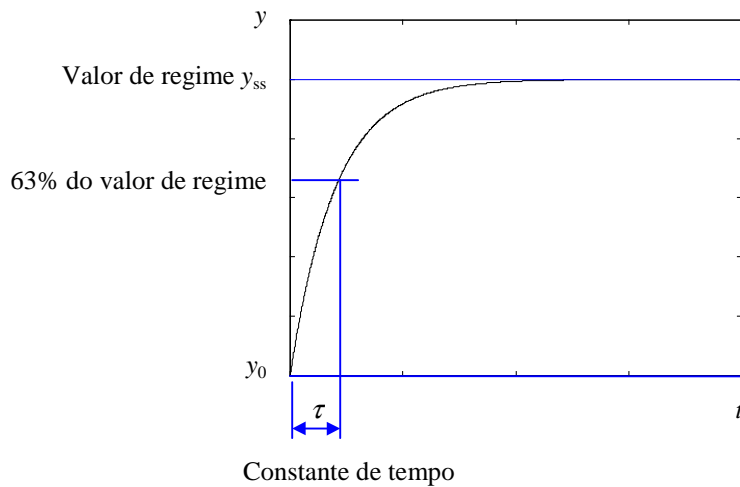
O equipamento já estará montado, mas o grupo deverá realizar os ajustes necessários para efetuar o experimento.

1. Ler as instruções.
2. Ligar o osciloscópio, caso ainda não esteja ligado (botão 1 na foto do painel do osciloscópio). Após ligado, o osciloscópio leva cerca de 20 minutos para estabilizar e fornecer medições com a precisão nominal.
3. Ligar a impressora.
4. Buscar água (cerca de 2 litros).
5. Anotar as informações sobre os equipamentos (tipo, marca, modelo, etc.).
6. Anotar o esquema do experimento (em particular as ligações dos diversos equipamentos).
7. Ler as especificações do condicionador de sinal (no próprio equipamento).
8. Com base nestas especificações, e, se estiver usando a fonte estabilizada, ligar a fonte e ajustar a tensão de saída (ver anexo).
9. Ligar a função “store” do osciloscópio (botão 4).
10. Ajustar as escalas vertical e horizontal do osciloscópio digital (anotar os ajustes feitos):

- Escala vertical (botão 2): depende da saída do condicionador de sinal. A escala deve ser tal que o valor máximo de tensão de saída do condicionador de sinal ainda possa estar representado no monitor do osciloscópio (aproximadamente 10 V). Ajustar a posição do traço, se for necessário (botão 2a).
 - Escala horizontal (botão 3): a escala deve ser tal que o fenômeno todo de aquecimento do termômetro de resistência seja representado no monitor do osciloscópio (a duração do fenômeno é de cerca de 60 segundos).
11. Encher a cuba de água.
 12. Colocar a resistência elétrica de aquecimento na cuba com água.
 13. Colocar o conector da resistência elétrica na tomada e ligar a resistência elétrica para aquecimento da água (a resistência está desligada se o ponto branco do interruptor estiver visível).
 14. Importante: o termômetro de resistência deve estar distante das fontes de calor, e ele é sensível a choques mecânicos.
 15. Quando a água estiver fervendo, colocar o termômetro (com cuidado) na água fervente, mantendo imerso o máximo possível, porém evitando molhar o cabo ou expô-lo ao vapor, e evitando tocar na resistência elétrica. A imersão também deve ser feita o mais rápido possível.
 16. Observando o osciloscópio, quando a curva de aquecimento estiver estabilizando, pressionar o botão "hold" (botão 5), para "congelar" a tela do monitor.
 17. Se o gráfico estiver adequado para as necessidades do experimento (que é representar o comportamento transitório de um sistema de 1ª ordem), pressionar **simultaneamente** as teclas "recall" (botão 6) e "hold" (botão 5) do menu "Storage", para enviar a imagem da tela para a impressora.
 18. Quando a impressora tiver terminado, pressionar a tecla "hold" (botão 5) para que o monitor do osciloscópio volte a mostrar o sinal do sensor. Importante: em todo este tempo o termômetro ainda deverá estar imerso na água e esta ainda deverá estar fervente.
 19. Anotar o valor máximo de tensão registrado na tela, que é o valor em regime (quando o termômetro está à mesma temperatura da água fervente).
 20. Retirar o termômetro do banho.
 21. Desligar a resistência elétrica de aquecimento e retirar seu conector da tomada.



22. Desligar a impressora.
 23. Usando o gráfico impresso, calcular a constante de tempo do termômetro de resistência usando o seguinte procedimento:



24. Usando papel monolog, calcular a constante de tempo usando o seguinte procedimento:

Adotando $y_0 = 0$, e se o termômetro se comporta como um sistema de 1ª ordem, então:

$$y(t) = y_{ss} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

Portanto:

$$y(t) = y_{ss} - y_{ss} e^{-\frac{t}{\tau}} \Rightarrow y_{ss} - y(t) = y_{ss} e^{-\frac{t}{\tau}} \Rightarrow \frac{y_{ss} - y(t)}{y_{ss}} = e^{-\frac{t}{\tau}} \Rightarrow \frac{y_{ss}}{y_{ss} - y(t)} = e^{\frac{t}{\tau}}$$

$$\log \left[\frac{y_{ss}}{y_{ss} - y(t)} \right] = \frac{t}{\tau} \log(e) \Rightarrow \log \left[\frac{y_{ss}}{y_{ss} - y(t)} \right] = \frac{\log(e)}{\tau} t$$

$$\log \left[\frac{y_{ss}}{y_{ss} - y(t)} \right] = Ct \text{ onde } C = \frac{\log(e)}{\tau} \Rightarrow \tau = \frac{\log(e)}{C}$$

Construindo um gráfico em escala logarítmica de $\frac{y_{ss}}{y_{ss} - y(t)}$ pelo tempo t , obtém-se uma reta de coeficiente angular C , e determinando-se graficamente C , podemos calcular a constante de tempo por meio de $\tau = \frac{\log(e)}{C}$.

Para construir o gráfico use os dados em instantes que vão de $t = 0$, onde, por convenção, $\frac{y_{ss}}{y_{ss} - y(t)} = 1$, até um instante t em que $\frac{y_{ss}}{y_{ss} - y(t)} = 10$. Construa o gráfico usando cerca de 7 pontos (instantes t), usando algum software do tipo SCILAB.

25. Escrever e editar o Relatório, de acordo com as instruções sobre relatórios (página 1 deste documento).

Resposta transitória de sistema de 2^a ordem (Sensor indutivo)

SENSOR INDUTIVO

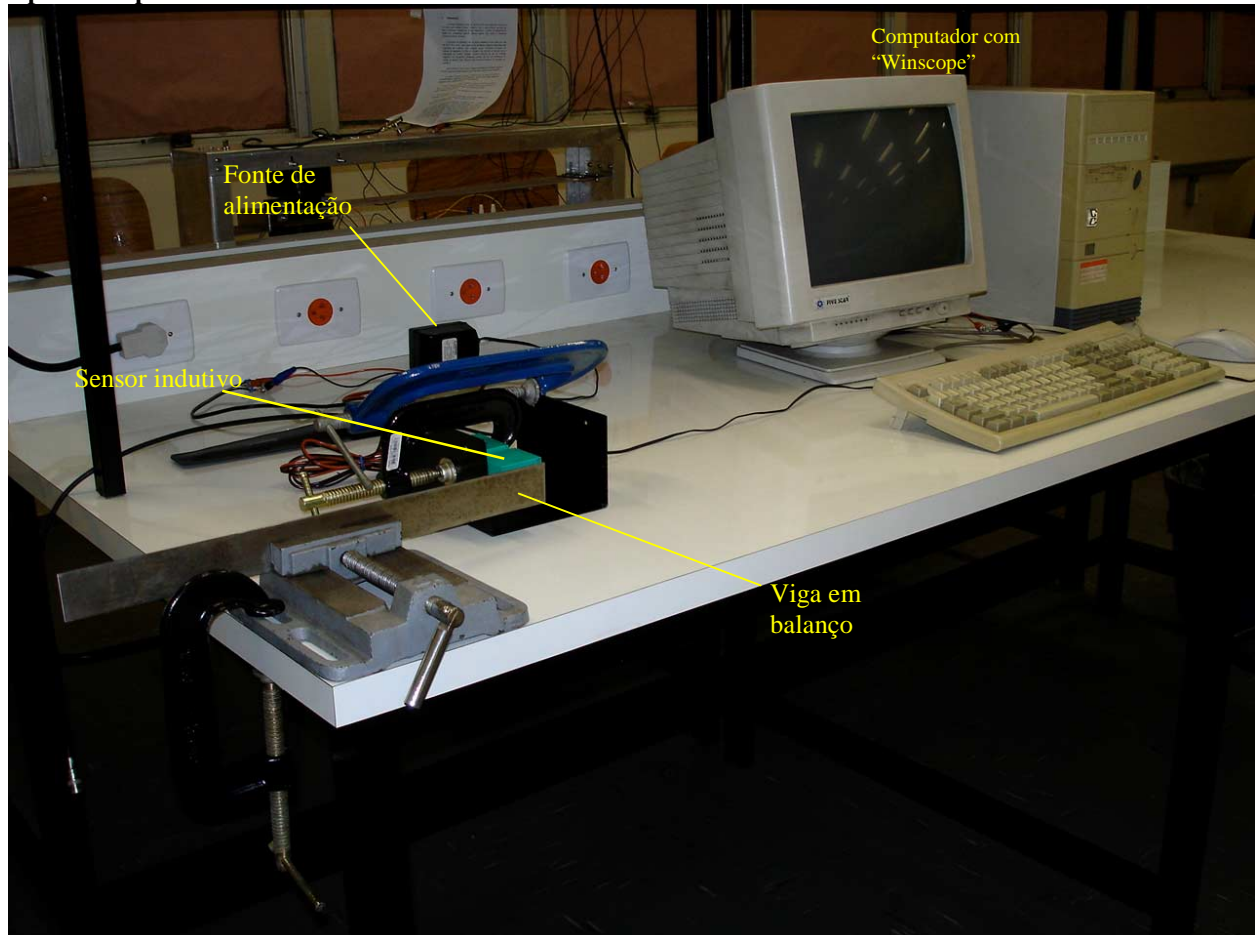
Objetivos:

Este experimento tem por objetivo principal o estudo da resposta transitória de um sistema de 2ª ordem, particularmente a determinação da frequência natural e do coeficiente de amortecimento.

Outros objetivos:

- Apresentar um sensor indutivo para medição de distâncias sem contato físico.
- Apresentar filtros digitais para tratamento de sinal.
- Introdução ao uso de placa de som como dispositivo de aquisição de sinal.
- Uso de gráficos para cálculos de parâmetros dinâmicos de sistemas de medição.

Aparato experimental:



Instruções:

O equipamento já estará montado, mas o grupo deverá realizar os ajustes necessários para efetuar o experimento.

1. Ler as instruções.
2. Ligar o computador, caso ainda não esteja ligado, e abrir o programa “Winscope”.
3. Anotar as informações sobre os equipamentos (tipo, marca, modelo, etc.).
4. Anotar o esquema do experimento (em particular as ligações dos diversos equipamentos, dimensões da viga, comprimento da parcela da viga que não está engastada, etc.).
5. Com base na espessura da viga, no comprimento não engastado, e no material da viga, calcular a frequência natural do primeiro modo de vibração da viga. Use a seguinte informação:

Pela teoria, a frequência natural de uma viga em balanço é determinada pela seguinte expressão (unidades no SI):

1º modo de vibração:

$$\omega_n = (1,875)^2 \sqrt{\frac{EI}{\rho b h L^4}}$$

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

ω_n : frequência natural, em *rad/s*.

b: largura da viga, em *m*.

h: espessura da viga, em *m*.

L: comprimento da parte da viga livre para se mover (e que se move de fato), em *m*.

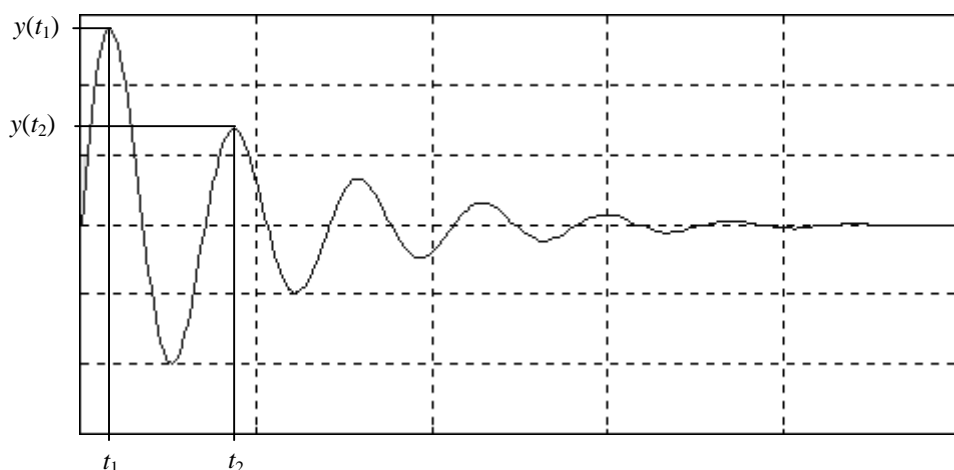
com os seguintes valores típicos para o aço:

$$E = 210 \text{ GPa}$$

$$\rho = 7800 \text{ kg / m}^3$$

6. Ler as especificações do sensor indutivo (ver anexo), e, de acordo com estas especificações, posicionar o sensor próximo à extremidade livre da viga em balanço.
 7. Com base nestas especificações, e, se estiver usando a fonte estabilizada, ligar a fonte e ajustar a tensão de saída (ver anexo).
 8. Ajustar o “Oscilloscope 2.51” (Winscope), e anotar os ajustes feitos (ver anexo).
 9. Pressionar o botão de início do “Winscope” (“On Line”).
 10. Após alguns segundos, pressionar o botão “Hold”.
 11. Salvar os dados em um arquivo denominado ‘ruído.txt’.
 12. Pressionar o botão de início do “Winscope” (“On Line”).
 13. Deslocar a extremidade livre da viga em balanço na direção do sensor indutivo, e soltá-la.
 14. Pressionar o botão “Hold”.
 15. Se o fenômeno estiver adequadamente representado na tela, salvar os dados em um arquivo denominado ‘sinal.txt’.
 16. Gravar os arquivos ‘ruído.txt’ e ‘sinal.txt’ em disquete (e em outro, como "backup").
 17. Copiar os arquivos em um computador com Scilab.
 18. Calcular o espectro de frequência dos sinais (tanto do ruído como do sinal correspondente ao movimento da extremidade livre da viga engastada). Use a função *fft* do Scilab.
- IMPORTANTE: o vetor de tempo fornecido pelo “Winscope” está em ms.**
19. Com base nestes espectros, determinar um sistema de 1ª ordem que filtre o sinal, atenuando o ruído presente no sinal do movimento da viga.
 20. Usando o sinal filtrado, determine a frequência natural e o coeficiente de amortecimento do 1º modo de vibração da viga engastada. Use o método do decremento logarítmico.

$y(t)$



Se a hipótese de que o comportamento dinâmico da viga engastada é o mesmo de um sistema de 2ª ordem, então, sendo t_1 e t_2 instantes em que ocorrem máximos locais consecutivos ($t_2 > t_1$):

$$\frac{y(t_1)}{y(t_2)} = \frac{e^{-\zeta\omega_n t_1}}{e^{-\zeta\omega_n t_2}} = e^{-\zeta\omega_n(t_1 - t_2)} = e^{\zeta\omega_n T_d}$$

ω_n é a frequência natural da viga.

ζ é o coeficiente de amortecimento da viga.

T_d é o período de oscilação da viga.

Sabemos ainda que:

$$T_d = \frac{2\pi}{\omega_d} \quad \text{e} \quad \omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}, \quad \text{logo} \quad T_d = \frac{2\pi}{\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}}$$

ω_n é a frequência natural amortecida da viga.

$$\frac{y(t_1)}{y(t_2)} = e^{\zeta \omega_n T_d} = e^{\zeta \omega_n \frac{2\pi}{\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}}} = e^{\frac{\zeta 2\pi}{\sqrt{1 - \zeta^2}}}$$

$$\ln \left[\frac{y(t_1)}{y(t_2)} \right] = \ln \left(e^{\frac{\zeta 2\pi}{\sqrt{1 - \zeta^2}}} \right) \Rightarrow \ln \left[\frac{y(t_1)}{y(t_2)} \right] = \zeta \frac{2\pi}{\sqrt{1 - \zeta^2}}$$

O decremento logarítmico é calculado por $\delta = \ln \left[\frac{y(t_1)}{y(t_2)} \right]$

Assim:

$$\delta = \zeta \frac{2\pi}{\sqrt{1 - \zeta^2}} \Rightarrow \delta^2 = \zeta^2 \frac{(2\pi)^2}{1 - \zeta^2} \Rightarrow \delta^2 (1 - \zeta^2) = \zeta^2 (2\pi)^2 \Rightarrow [\delta^2 + (2\pi)^2] \zeta^2 = \delta^2$$

$$[\delta^2 + (2\pi)^2] \zeta^2 = \delta^2 \Rightarrow \zeta^2 = \frac{\delta^2}{\delta^2 + (2\pi)^2} \Rightarrow \zeta = \sqrt{\frac{\delta^2}{\delta^2 + (2\pi)^2}}$$

e:

$$\omega_n = \frac{\omega_d}{\sqrt{1 - \zeta^2}}$$

21. Escrever e editar o Relatório, de acordo com as instruções sobre relatórios (página 1 deste documento).

Resposta em frequência (Circuito RC)

Circuito RC

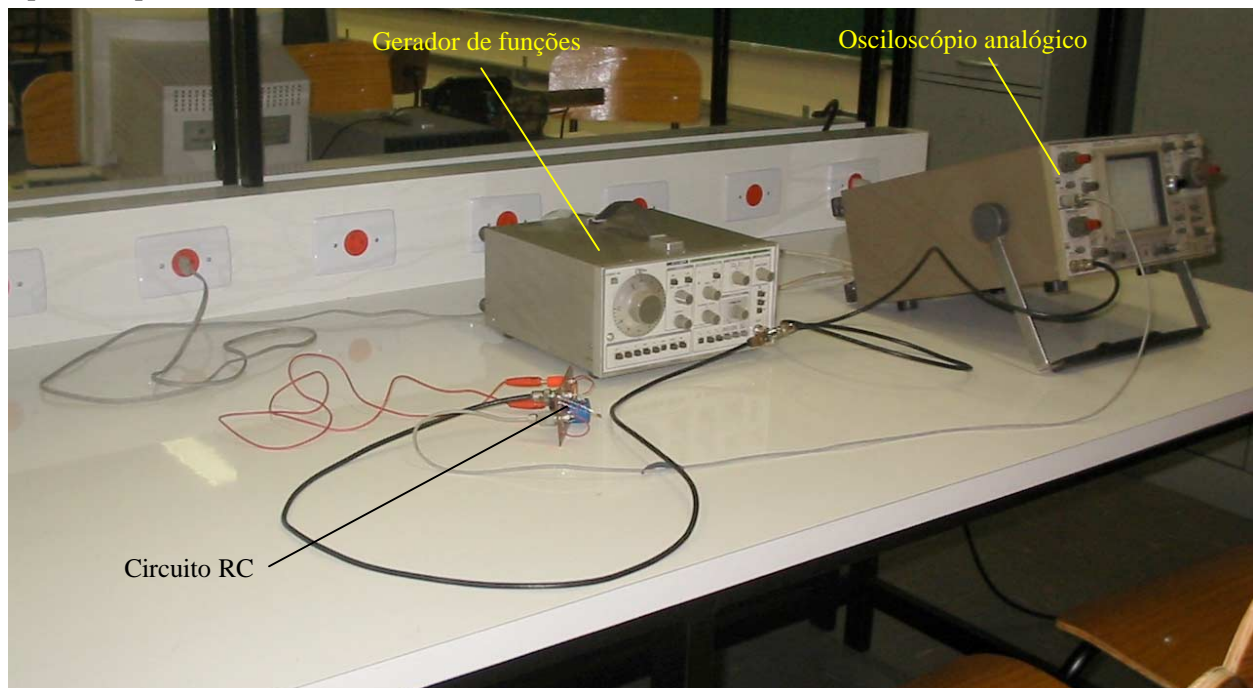
Objetivo:

Levantar a curva de resposta em frequência de um circuito RC usando um osciloscópio analógico e o modo XY de visualização dos sinais.

Outros Objetivos:

- Uso de osciloscópio analógico.
- Representação de informações por meio gráfico: plano de fase (figuras de lissajous).
- Uso de gerador de funções.

Aparato experimental:



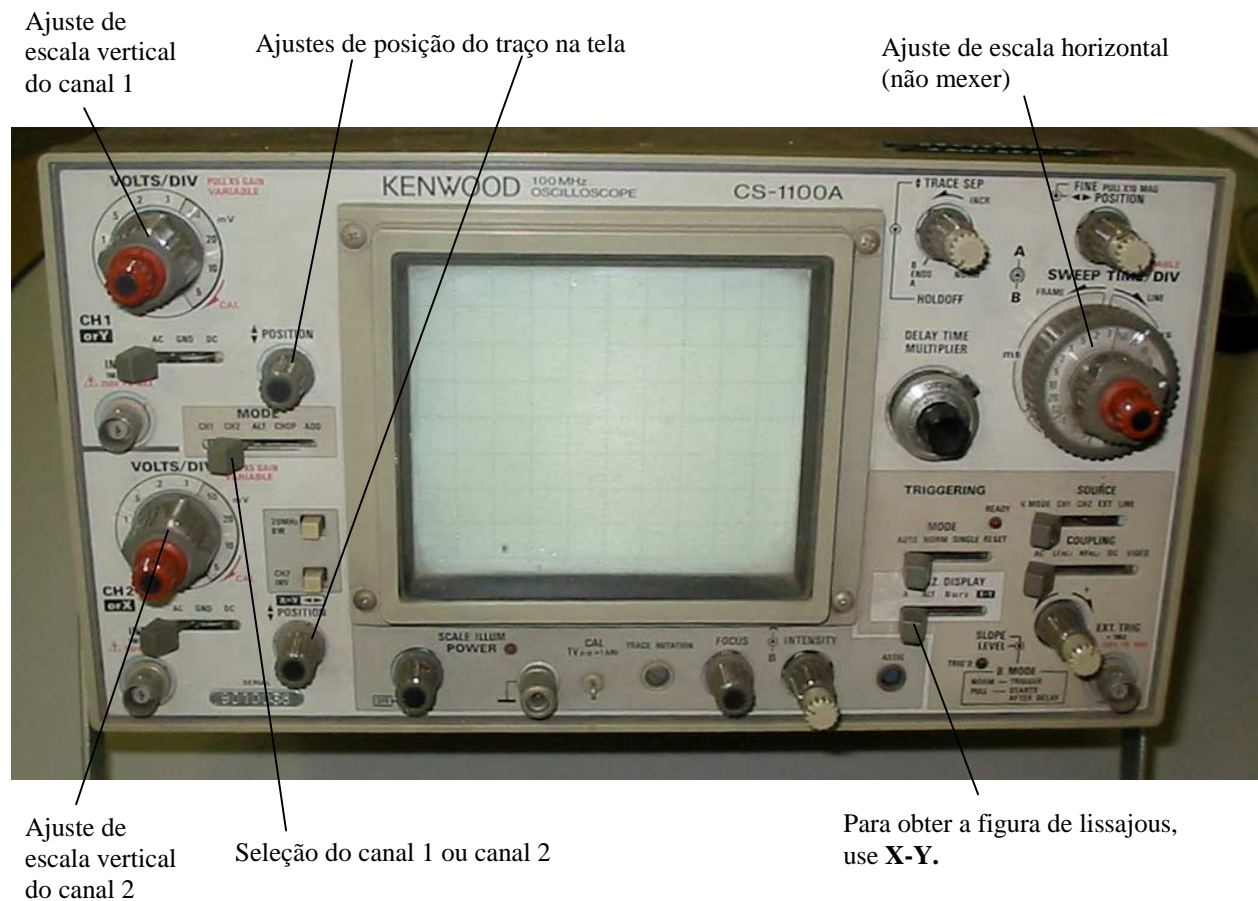
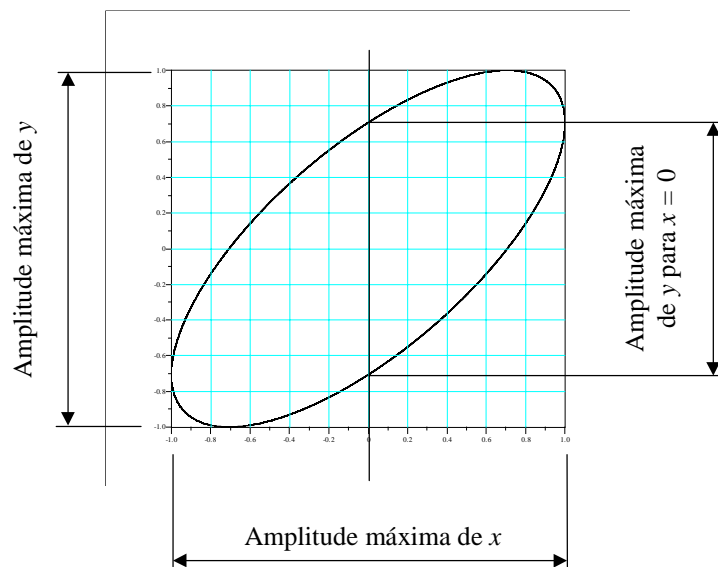
Instruções:

O equipamento já estará montado, mas o grupo deverá realizar os ajustes necessários para efetuar o experimento.

1. Ler as instruções.
2. Ligar o osciloscópio, se já não estiver ligado.
3. Ligar o gerador de funções, ajustar a onda para senoidal, e a frequência para 25 kHz.
4. Ligar a saída do gerador de funções ao canal 1 do osciloscópio analógico, e ajustar para que a tela mostre o canal 1.
5. Ajustar a amplitude do sinal senoidal do gerador de funções para que a onda ocupe cerca de 80% da tela, no sentido vertical. Anote a amplitude da onda senoidal, de pico a pico.
6. Ligar a saída do gerador de funções ao canal 2 do osciloscópio analógico, e ajustar para que a tela mostre o canal 2.
7. Ajustar a escala para que o canal 2 mostre na tela a mesma amplitude mostrada no canal 1.
8. Refazer as ligações originais, ou seja, ligar a saída do circuito RC no canal 1 e a saída do gerador de funções no canal 2 do osciloscópio.
9. Preencher a seguinte tabela:

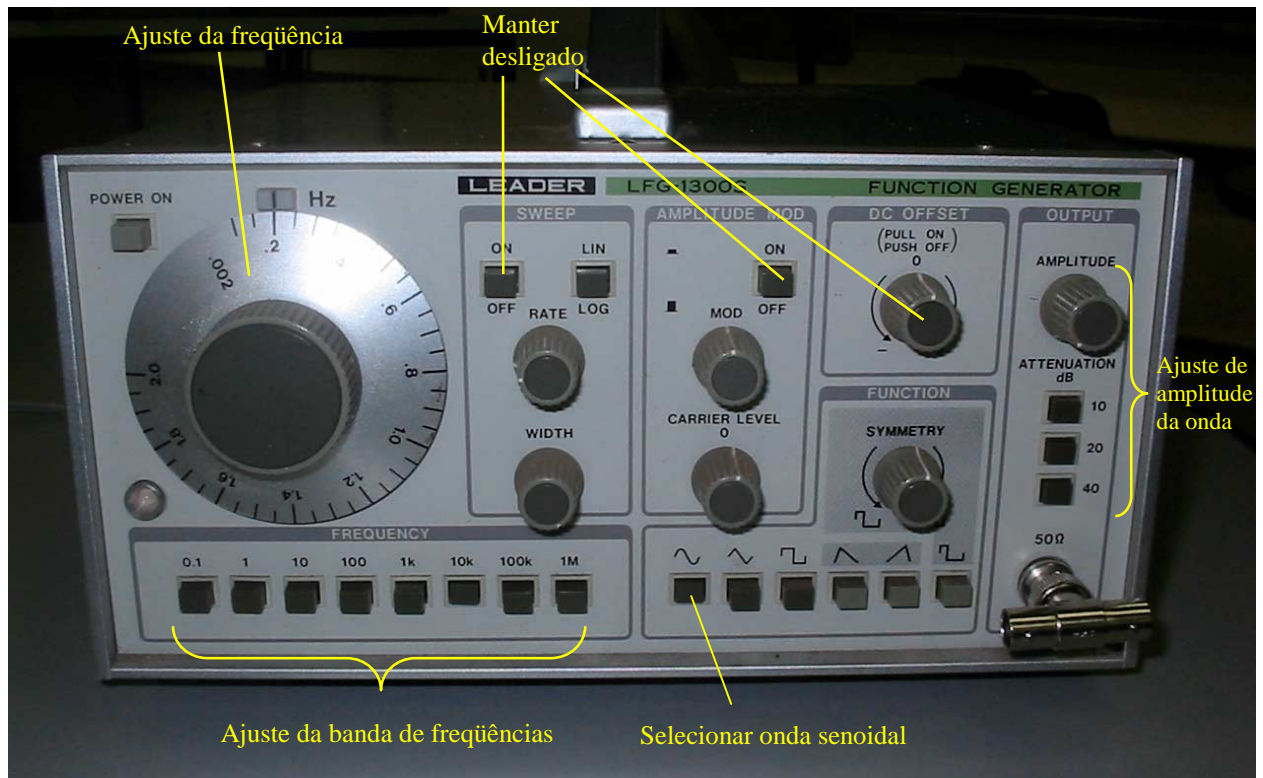
Coluna	1	2	3	4	5	6	7	8
Experimento	Frequência (kHz)	Amplitude máxima de x	Amplitude máxima de y	Amplitude de y para $x = 0$	$\frac{\text{coluna 3}}{\text{coluna 2}}$	$\frac{\text{coluna 4}}{\text{coluna 3}}$	$20 \cdot \log(\text{coluna 5})$	$\arcsen(\text{coluna 6})$
1	3,0							
2	10							
3	20							
4	30							
5	45							
6	90							
7	300							

Observação: para obter a imagem abaixo, e preencher as colunas 2 a 4, use o modo XY (X-Y).



Para obter a figura de lissajous, use X-Y.

10. Com base nos resultados da tabela, construir o diagrama de Bode do circuito RC. Use papel monolog.
11. Verifique se as curvas obtidas no gráfico são aproximadamente as mesmas de um sistema de 1ª ordem, uma vez que um circuito RC pode ser modelado por um sistema de 1ª ordem.
12. Escrever e editar o Relatório, de acordo com as instruções sobre relatórios (página 1 deste documento).



Amostragem de sinal (Aquisição de sinais)

Aquisição de sinais

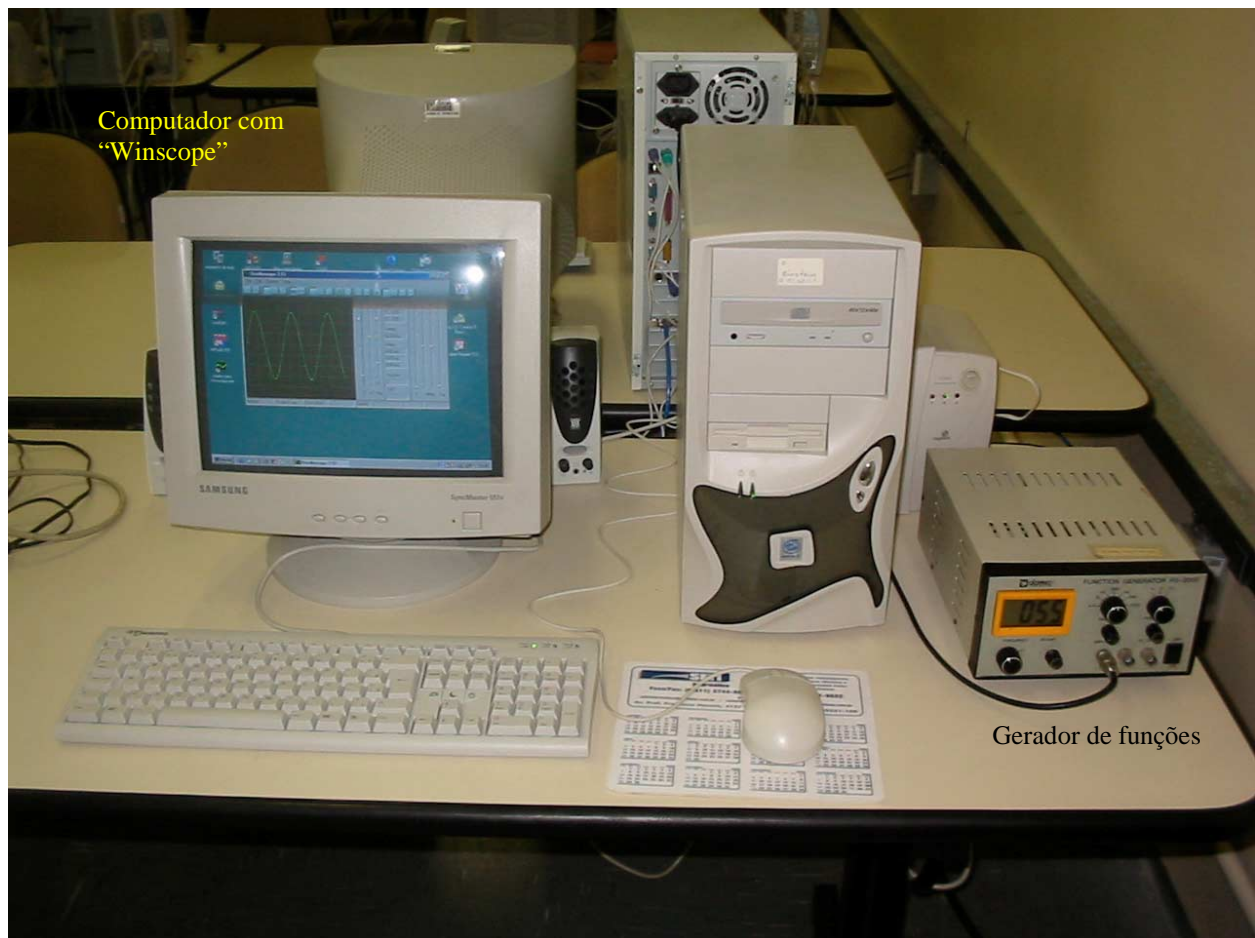
Objetivo:

Verificar experimentalmente o efeito da frequência de amostragem em relação à faixa de frequência do sinal experimental a ser amostrado.

Outros objetivos:

- Uso de gerador de funções.
- Aquisição de sinal usando a placa de som de um microcomputador
- Análise de sinal usando transformada de Fourier.

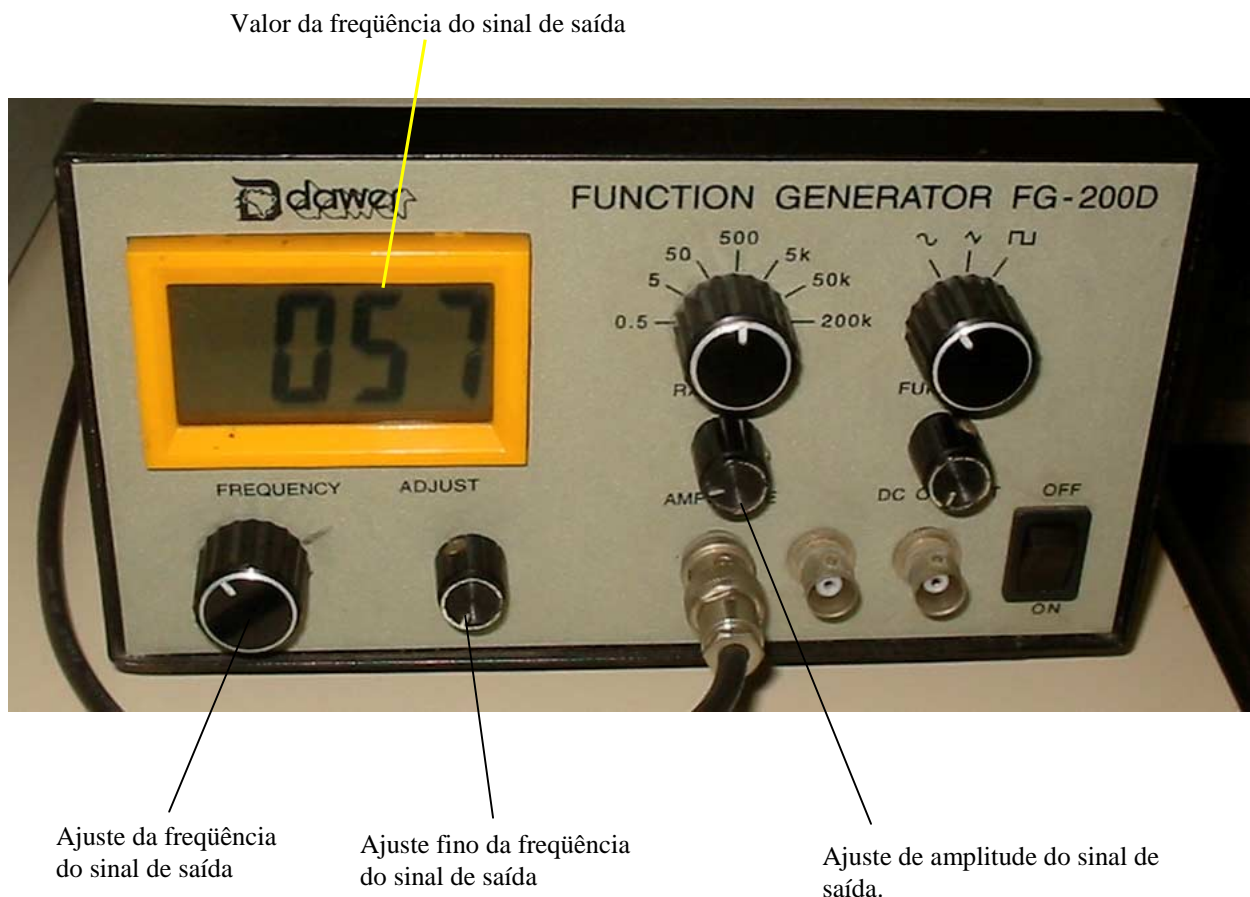
Aparato experimental:

**Instruções:**

O equipamento já estará montado, mas o grupo deverá realizar os ajustes necessários para efetuar o experimento.

1. Ler as instruções.
2. Ligar o computador (se já não estiver ligado), selecionando o DOS.
3. Iniciar o programa "Winscope" (Oscilloscope 2.51).
4. Ajustar o "Oscilloscope 2.51" (Winscope), e anotar os ajustes feitos (ver anexo).
 - Na opção "Timing", ajuste a frequência de amostragem em 11025 Hz.
 - Na opção "Data file", ajuste (para "Waveform") a escala de tempo para ms, e o comprimento do vetor de dados para "All data". Selecione "Omit DC level".
5. Pressionar o botão de início do "Winscope" ("On Line").
6. Ajustar a amplitude do sinal de saída do gerador de funções no mínimo.
7. Ligar o gerador de funções.

8. Verificar se o sinal está sendo registrado no “Winscope”. Ajustando o ganho do “Winscope” para 1 (usar o botão que força o ganho para o valor 1), aumentar gradualmente a amplitude do sinal do gerador de funções até que uma senóide de frequência 100 Hz ocupe cerca de 80% da escala vertical da tela. A partir deste ajuste, **NÃO** aumente a amplitude do sinal, quando do ensaio para outras frequências.
9. Realizar o seguinte procedimento:
 - Ajustar a frequência do sinal de saída do gerador de funções para $1,00 \times 10^2$ Hz.
 - Pressionar o botão de início do “Winscope” (“On Line”).
 - Se o “Winscope” estiver registrando o sinal em sua tela, pressionar “Hold”.
 - Salvar o arquivo de dados.
10. Repetir o procedimento 9 para as seguintes frequências:
 - $1,00 \times 10^3$ Hz
 - $5,61 \times 10^3$ Hz
11. Gravar os arquivos em disquete (e em outro, como "backup").
12. Copiar os arquivos em um computador com Scilab.
13. Calcular o espectro de frequência dos sinais. Use a função fft do Scilab.
IMPORTANTE: o vetor de tempo fornecido pelo “Winscope” está em ms.
14. Interpretar os espectros obtidos e determinar o efeito do frequência de amostragem em relação à frequência do sinal.
15. Escrever e editar o Relatório, de acordo com as instruções sobre relatórios (página 1 deste documento).



Observação: apesar do gerador de funções mostrar a frequência do sinal, calcular a frequência pelos dados do “Winscope”, usando o gráfico do sinal pelo tempo, e determinando o período de oscilação. A diferença média entre a frequência medida por um osciloscópio e o valor mostrado no gerador de função é de 3%.

Análise de sinal (Acelerômetro)

Acelerômetro

Objetivo:

Obter e analisar o espectro em frequência do sinal de aceleração de um suporte de máquina rotativa.

Outros objetivos:

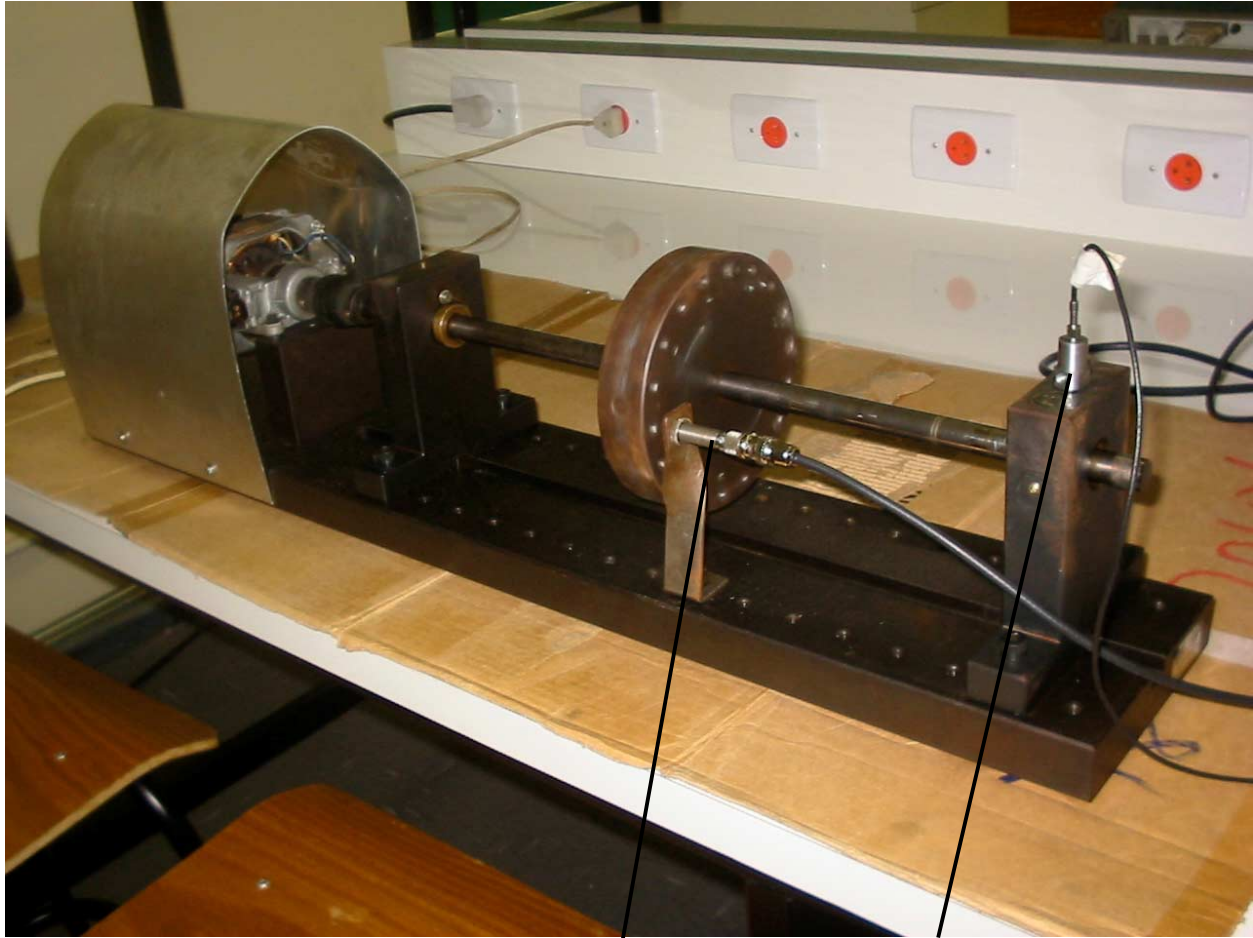
- Acelerômetro piezoeletrico.
- Aquisição de sinal usando a placa de som de um microcomputador.
- Análise de sinal usando transformada de Fourier.
- Medição de velocidade de rotação usando sensor indutivo.

Aparato experimental:



Variac

Máquina rotativa



Sensor indutivo (tipo chave)

Acelerômetro

Instruções:

O equipamento já estará montado, mas o grupo deverá realizar os ajustes necessários para efetuar o experimento.

1. Ler as instruções.
2. Ligar o computador (se já não estiver ligado).
3. Iniciar o programa "Winscope" (Oscilloscope 2.51).
4. Ajustar o "Oscilloscope 2.51" (Winscope), e anotar os ajustes feitos (ver anexo e a figura a seguir).
 - Na opção "Timing", ajuste a frequência de amostragem em 44.100 Hz .
 - Na opção "Data file", ajustar (para "Waveform") a escala de tempo para ms , e o comprimento do vetor de dados para "All data". Selecione "Omit DC level".
5. Pressionar o botão de início do "Winscope" ("On Line").
6. Após alguns segundos, pressionar o botão "Hold".
7. Salvar os dados em um arquivo denominado 'ruído.txt'.
8. Pressionar o botão de início do "Winscope" ("On Line").

IMPORTANTE: antes de ligar o Variac verificar se não há nada que impeça o movimento da máquina e se não há nada que possa se enroscar no eixo rotativo, como correntes, mangas de camisa, blusas, cabos dos sensores, etc.

9. Ligar o Variac, ajustar a tensão movendo o ponteiro até aproximadamente 140 V . A tensão pode ser aumentada se o eixo não passar pela 1ª velocidade crítica, mas evitar ajustar para um valor acima de 160 V . **Observação:** o valor indicado pelo mostrador não é o valor real de tensão aplicado.
10. Quando a tela do "WINSCOPE" mostrar um gráfico semelhante ao mostrado na figura a seguir, pressionar "Hold".
11. Salvar o arquivo de dados.
12. Repetir os itens 8 a 11.
13. Gravar todos os arquivos em disquete (e em outro, como "backup").
14. Copiar todos os arquivos em um computador com Scilab.
15. Calcular os espectros de frequência dos sinais de ruído. Use a função `fft` do Scilab.

IMPORTANTE: o vetor de tempo fornecido pelo "Winscope" está em ms .

16. Com base nestes espectros, determinar um sistema de 1ª ordem que filtre o sinal, atenuando o ruído.
17. Usando o sinal filtrado determinar, para cada arquivo de dados:
 - A velocidade de rotação da máquina.
 - O valor médio do sinal correspondente ao da aceleração (observe que, por não estar calibrado, o “Oscilloscope” não fornece o valor real da aceleração).
 - O valor rms do sinal correspondente ao da aceleração.
 - A FFT do sinal correspondente ao da aceleração
18. Comparar as duas situações ensaiadas experimentalmente.
19. Escrever e editar o Relatório, de acordo com as instruções sobre relatórios (página 1 deste documento).

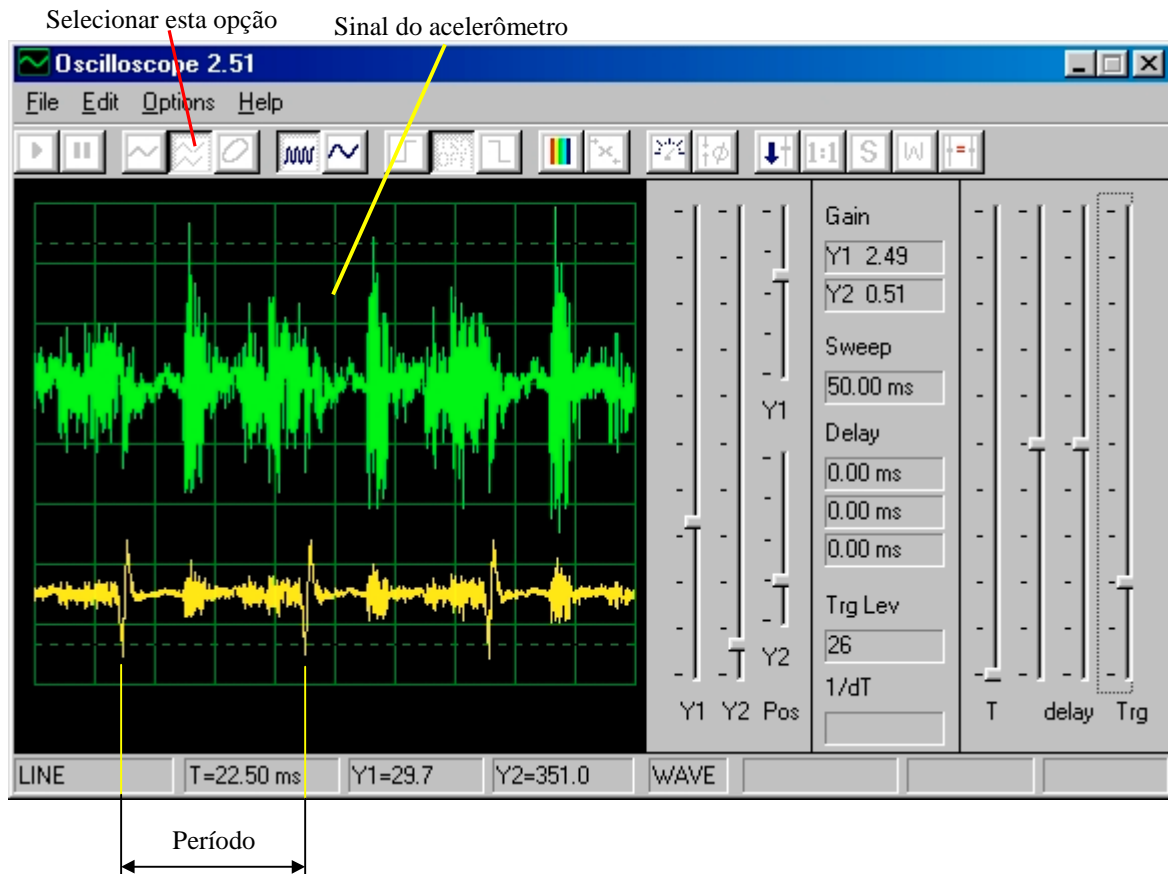


Figura referente aos itens 10 e 11.

O período é o tempo necessário para que o eixo realize uma rotação.

Para retirar o sinal do acelerômetro que aparece contaminando o sinal do sensor indutivo, realizar o seguinte procedimento no Scilab:

Carregar o arquivo de dados no Scilab:

```
M=fscanfMat('Diretório\filename');
```

Subtrair o sinal do acelerômetro do sinal do sensor indutivo, obtendo o sinal do sensor indutivo sem a contaminação:

```
indutivo=M(:,3)-M(:,2);
```

Extrair o sinal de tempo:

```
tempo=M(:,1)/1000;
```

IMPORTANTE: o vetor de tempo fornecido pelo “Winscope” está em *ms*, daí o fator 1000.

Sinal do acelerômetro:

```
acelerometro=M(:,2);
```

ANEXOS

WINSCOPE

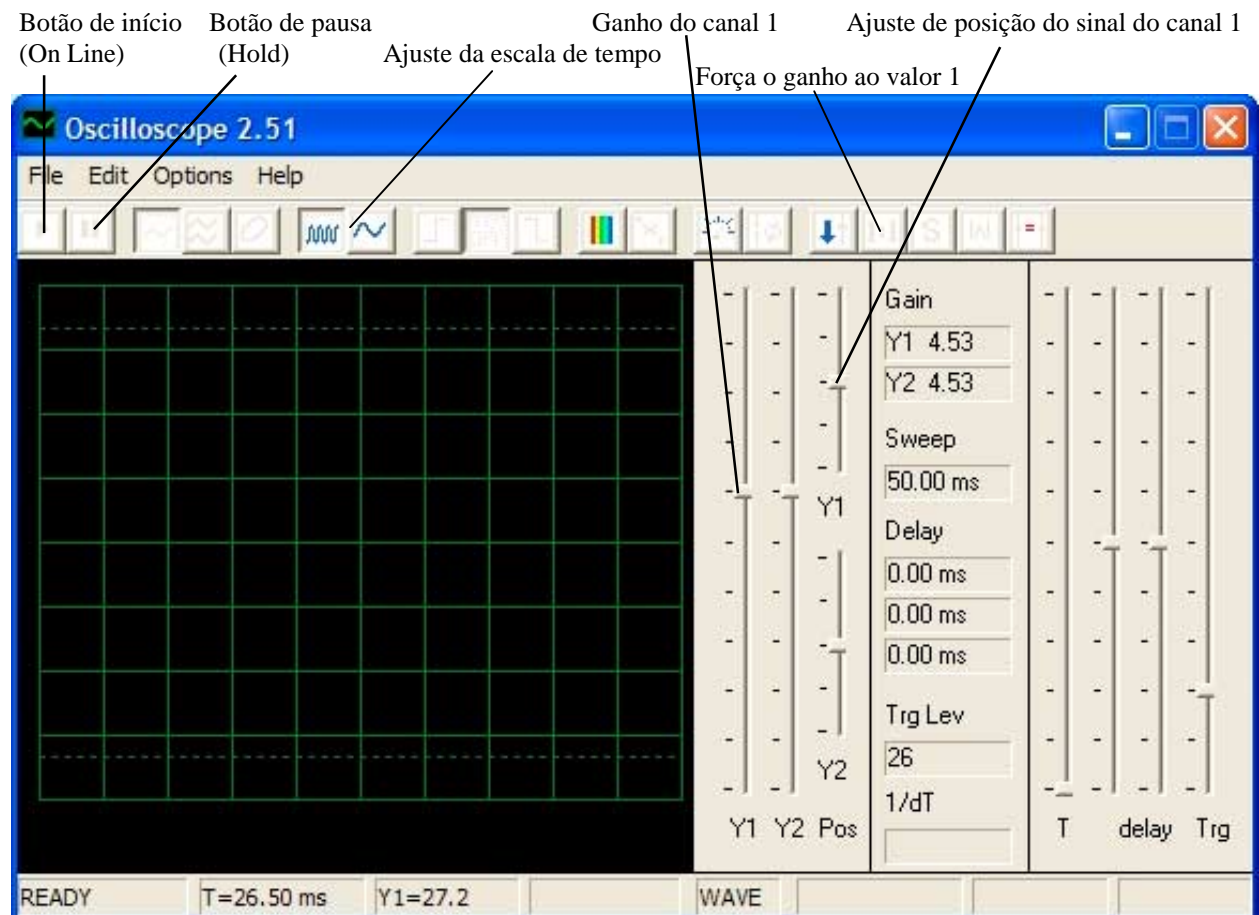
TUTORIAL

Introdução:

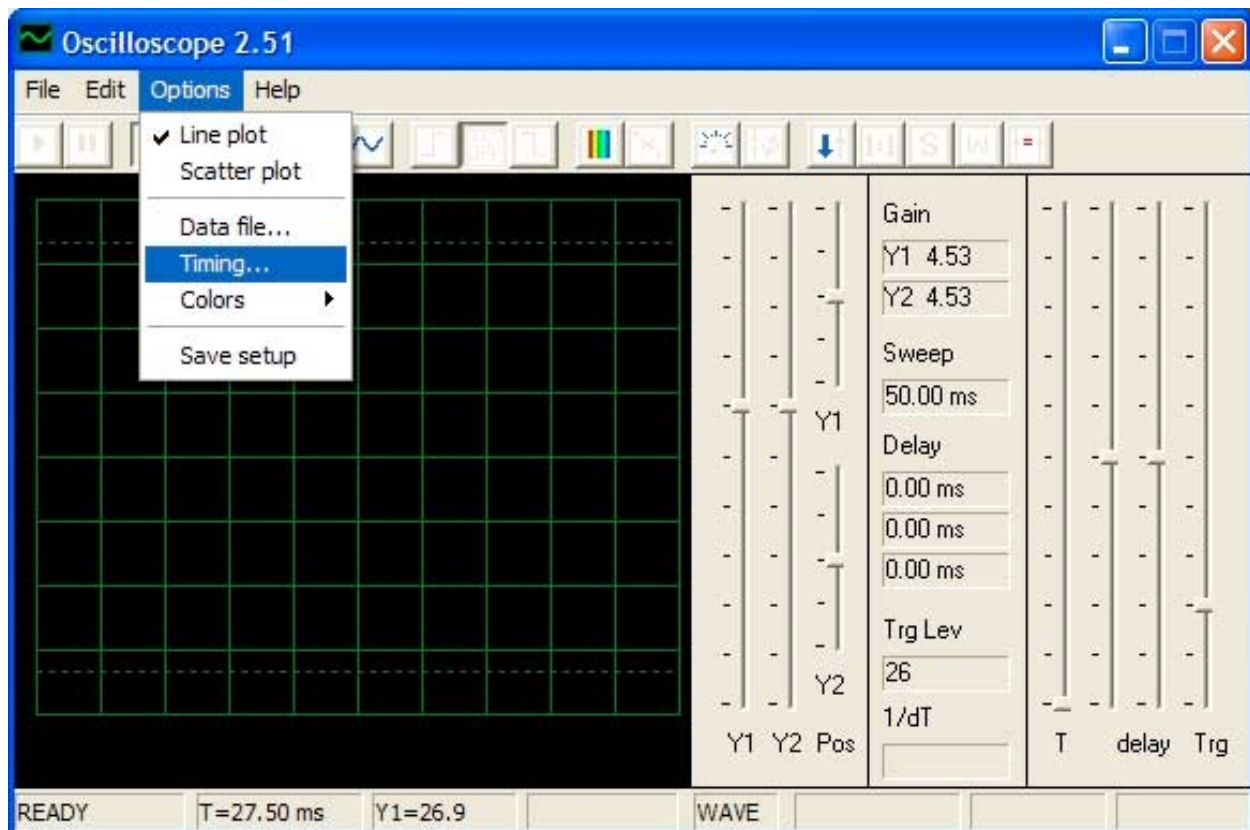
O “Osciloscópio 2.51” é um software gratuito, disponível na Internet, que trata e mostra os sinais elétricos na entrada de microfone da placa de som como se fosse um osciloscópio. Como a placa de som recebe sinais elétricos analógicos e os transforma em sinais digitais, ela atua como um sistema de aquisição de dados. Entretanto, para evitar a saturação dos amplificadores, as placas de som possuem capacitores em suas entradas, de forma que elas rejeitem sinais de amplitude constante. A aplicação, portanto, se restringe a sinais periódicos ou transientes, com espectro de frequências entre 40 e 4.000 Hz, aproximadamente.

Este tutorial não se destina a substituir o “Help” do software, trata-se apenas de uma referência rápida para permitir a operação do software.

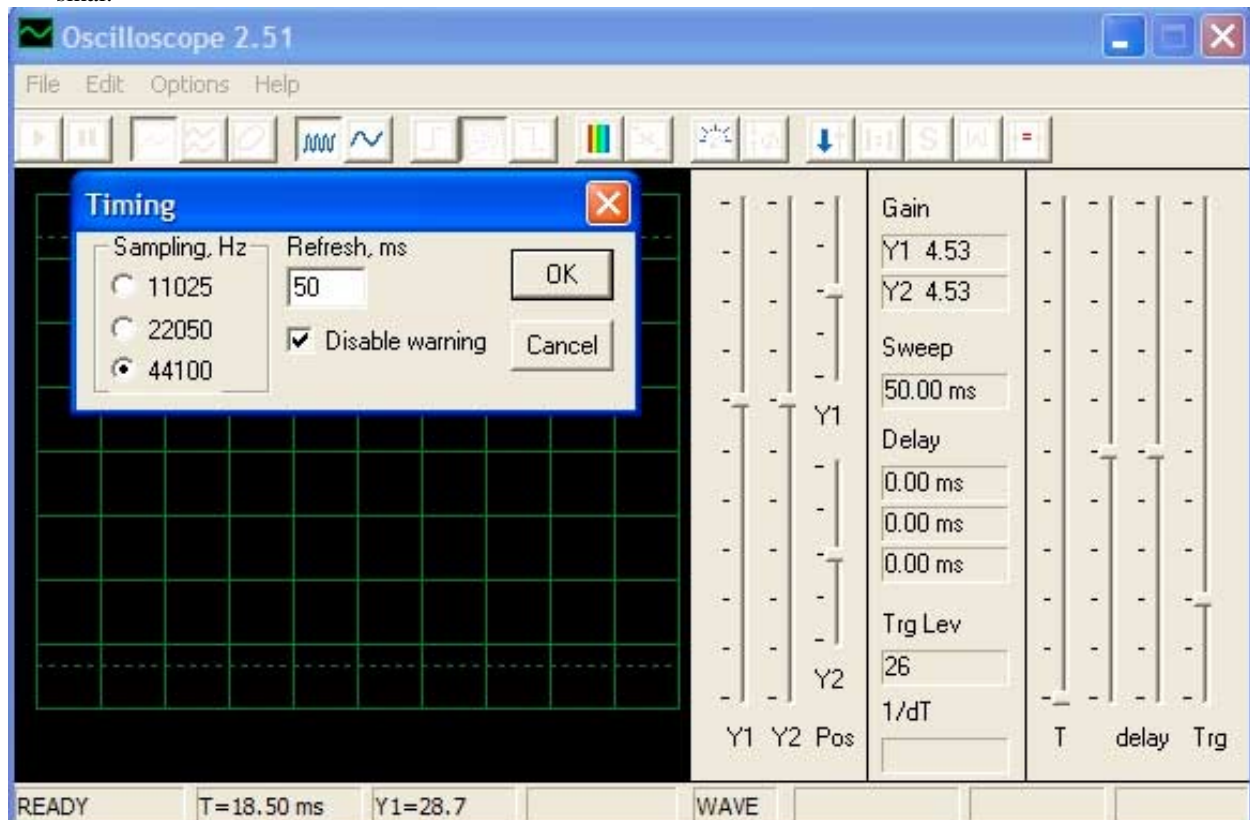
Panel:



- Botão de início (On Line): o software começa a mostrar na tela o sinal captado pela placa de som.
- Botão de pausa (Hold): congela a tela. O ajuste das opções deve ser feito com este botão pressionado.
- Ajuste de escala de tempo: mostra na tela uma maior ou menor parcela do sinal no tempo, ou, exemplificando, para um sinal periódico, mostra na tela mais (ou menos) períodos do sinal.
- Ganho do canal 1: este botão deslizante ajusta o ganho do sinal, ou seja o valor pelo qual o sinal é multiplicado pelo software. Este ganho não melhora a resolução do sinal, nem afeta os dados salvos (afeta apenas a tela).
- Ajuste de posição do sinal do canal 1: ajusta o início da escala vertical (move o traço para cima ou para baixo).

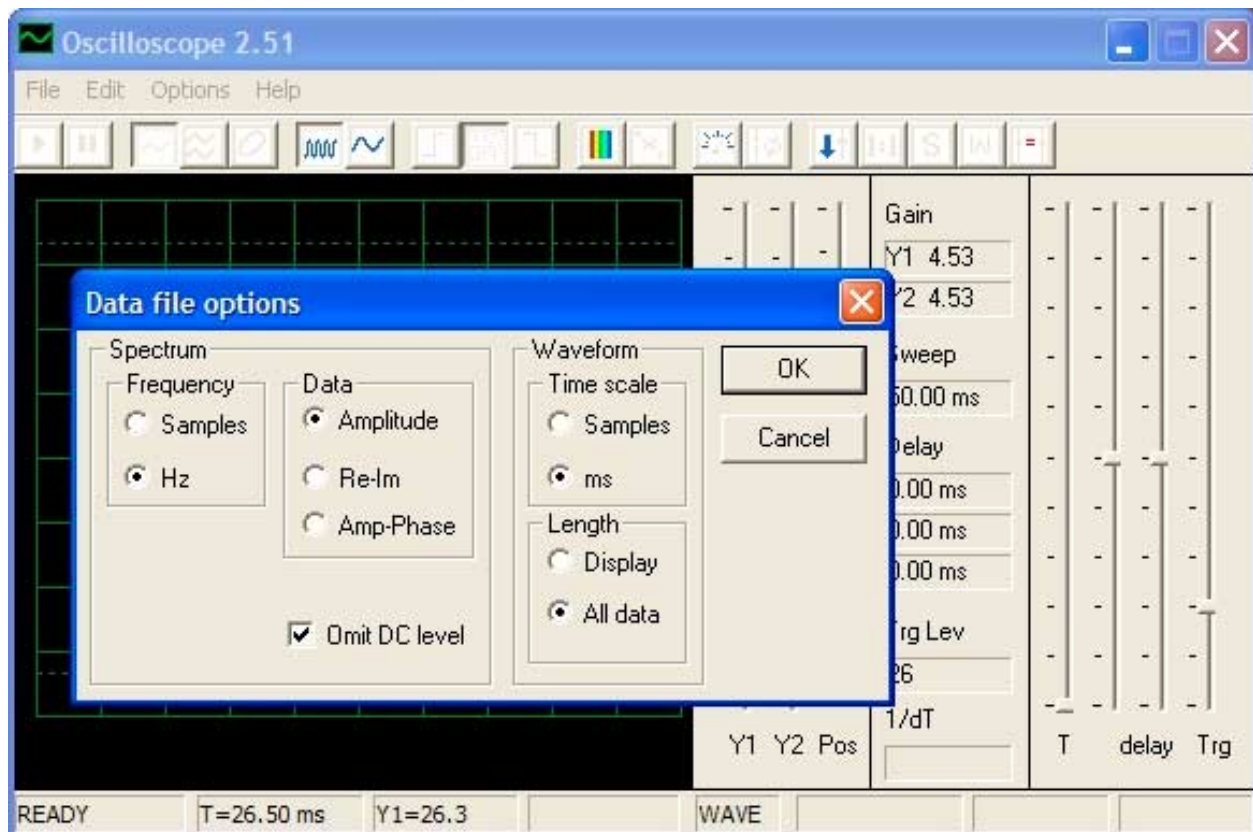
Ajuste das opções:**Ajuste do "Timing":**

- Ajuste da frequência de amostragem ("Sampling").
- Ajuste da taxa de "refresh": de quanto em quanto tempo a tela será mudada, mostrando uma nova parcela do sinal.



Ajuste do “Data File”

O software pode gravar o sinal em um arquivo do tipo txt. As opções para esta gravação são feitas neste menu.

**Gráfico do sinal no tempo (“Waveform”):**

- Ajustar a escala horizontal (“Time scale”) como escala de tempo em ms (milissegundos).
- Ajustar o tamanho do arquivo (“length”), se apenas o que aparece na tela, ou todos os dados acumulados na memória. Selecione “All data”.

Gráfico do espectro do sinal (“Spectrum”):

- Ajustar a escala horizontal (“Frequency”) como escala de frequências em Hz.
- Ajustar a escala vertical (“Data”): escolher entre mostrar apenas a amplitude, a amplitude e a fase, ou a parte real e parte imaginária.
- Selecionar se deseja omitir ou não a parcela constante do sinal (“DC level”).

Operação:

- Iniciar o programa “Winscope”.
- Ajustar as opções do menu de opções (“Options”).
- Pressionar o botão de início (“On Line”).
- Ajustar as opções do painel (ajuste da escala de tempo, ajuste do ganho do sinal, ajuste da posição do sinal) até que a tela apresente o sinal de forma conveniente.
- Registrar o fenômeno e pressionar o botão de pausa (“Hold”).
- Usando o menu “File”, salvar o arquivo de dados (ver instruções na próxima página).
- Gravar em disquete o arquivo de dados.

Para usar o arquivo de dados no “Scilab”, use o comando `fscanfMat` (o M deve ser mesmo em maiúscula).

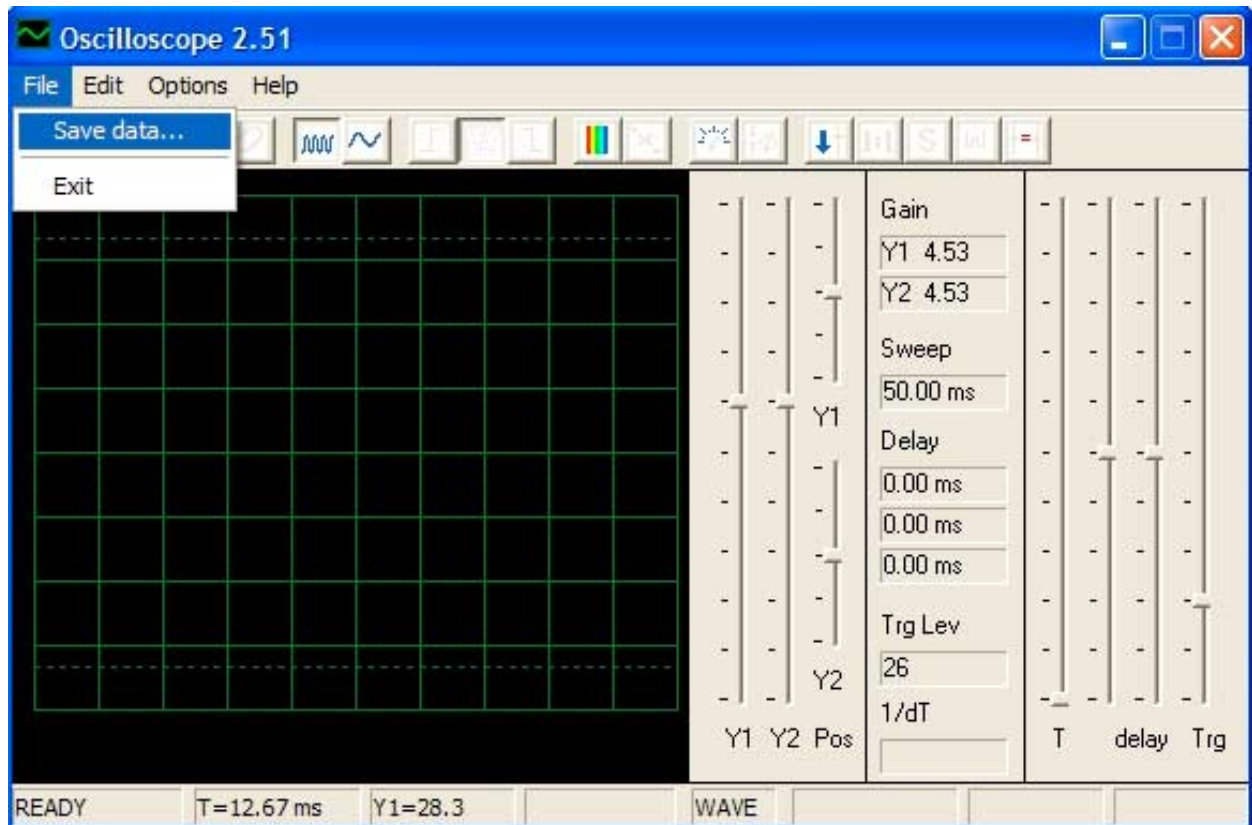
Sintaxe:

```
M=fscanfMat('Diretório\filename');
```

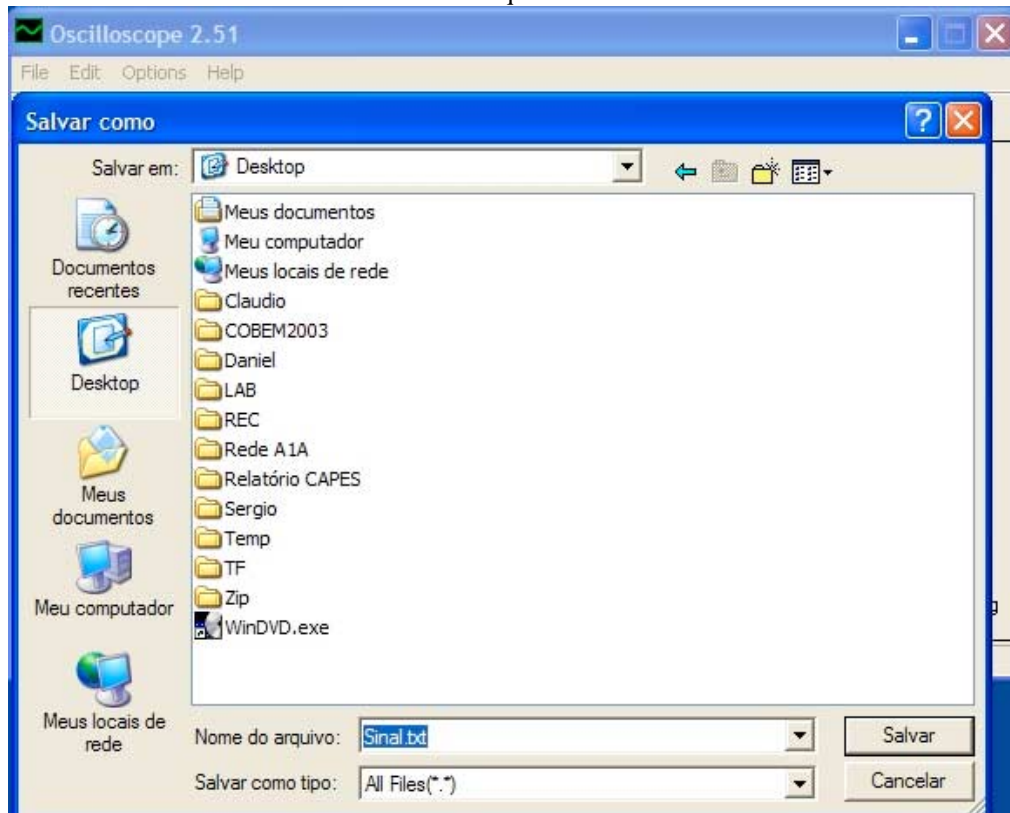
Para plotar o gráfico:

```
plot2d(M(:,1),M(:,2));
```

Para salvar o arquivo de dados:
Menu “File”, opção “Save data...”:



Selecionar o diretório e escrever o nome do arquivo:



Usar a seleção “All Files(*.*)”.

Fonte Estabilizada



Fio vermelho no conector vermelho

Fio preto no conector preto

Ajuste de tensão

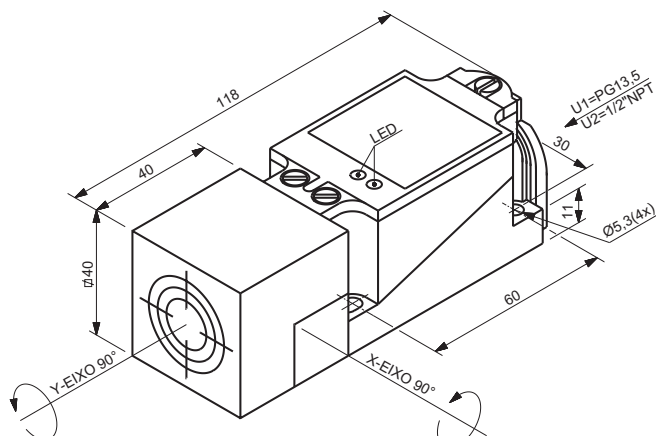
Pressione este botão para ter a leitura no voltímetro

Sensor Indutivo

Catálogo Técnico

Sensor Indutivo Com Saída Analógica

Dimensões Mecânicas:



Des. 15

Modelos	PA15+U1+AN			
Desenho	15			
Distância Sensora	2 a 9mm			
Alvo Padrão	45x45mm			
Tipo	analógico			
Saída	corrente e tensão			
Saída corrente/tensão	0-20mA/0-10Vcc			
Grau de Proteção	IP67			
Conexão	terminal			
Invólucro	termoplástico (PBT/VO)			
Configurações Elétricas				

Características Técnicas:

Saída Analógica

Tensão de alimentação	16 a 30Vcc
Ripple	5%
Corrente de consumo	11mA
Saída de tensão	0 a 10V
Menor impedância de carga	250Ω
Saída em corrente	0-20mA
Resistência máxima de loop	800Ω
Sinalização	led
Histerese	5%
Repetibilidade	<0,01mm
EMC	IEC 947-5-2/IEC 1000-4-2,3,4,5/EN: 50082-2
Temperatura de operação	-25°C a +70°C
Resistência à vibração	f ≤ 55Hz / a ≤ 1mm
Choque	b ≤ 30g / f ≤ 11ms
Grau de proteção	IP67
Invólucro plástico	termoplástico (PBT/VO)