

Física Experimental IV

Notas de aula: www.fap.if.usp.br/~hbarbosa

LabFlex: www.dfn.if.usp.br/curso/LabFlex

Profa. Eloisa Szanto
eloisa@dfn.if.usp.br
Ramal: 7111
Pelletron

Prof. Henrique Barbosa
hbarbosa@if.usp.br
Ramal: 6647
Basílio, sala 100

Prof. Nelson Carlin
nelson.carlin@dfn.if.usp.br
Ramal: 6820
Pelletron

Prof. Paulo Artaxo
artaxo@if.usp.br
Ramal: 7016
Basílio, sala 101

Aula 2, Experiência 1 Circuitos CA e Caos

Objetivos

- Estudar circuitos elétricos em corrente alternada com a finalidade de explorar fenômenos caóticos
- Aprender algumas técnicas avançadas de processamento de sinais e análise de dados
- 5 aulas
 - Noções de CA, filtro RC
 - Circuito integrador e análise de Fourier
 - Ressonância de um circuito RLC simples
 - Funções caóticas: mapa logístico
 - Caos em circuito RLD

TAREFAS SEMANA PASSADA



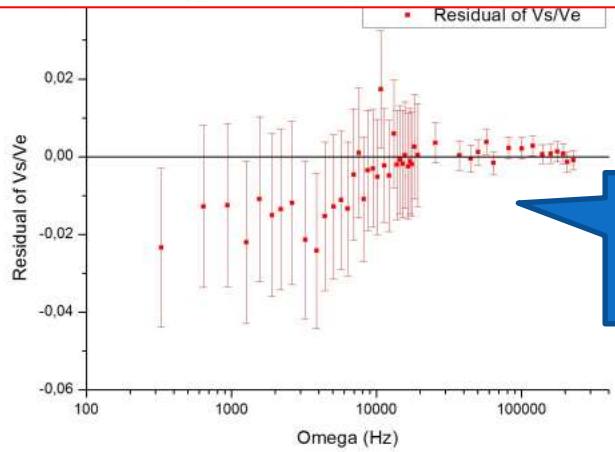
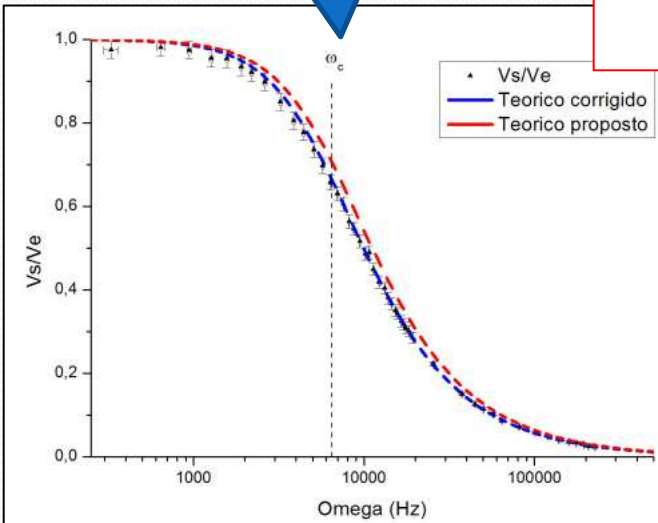
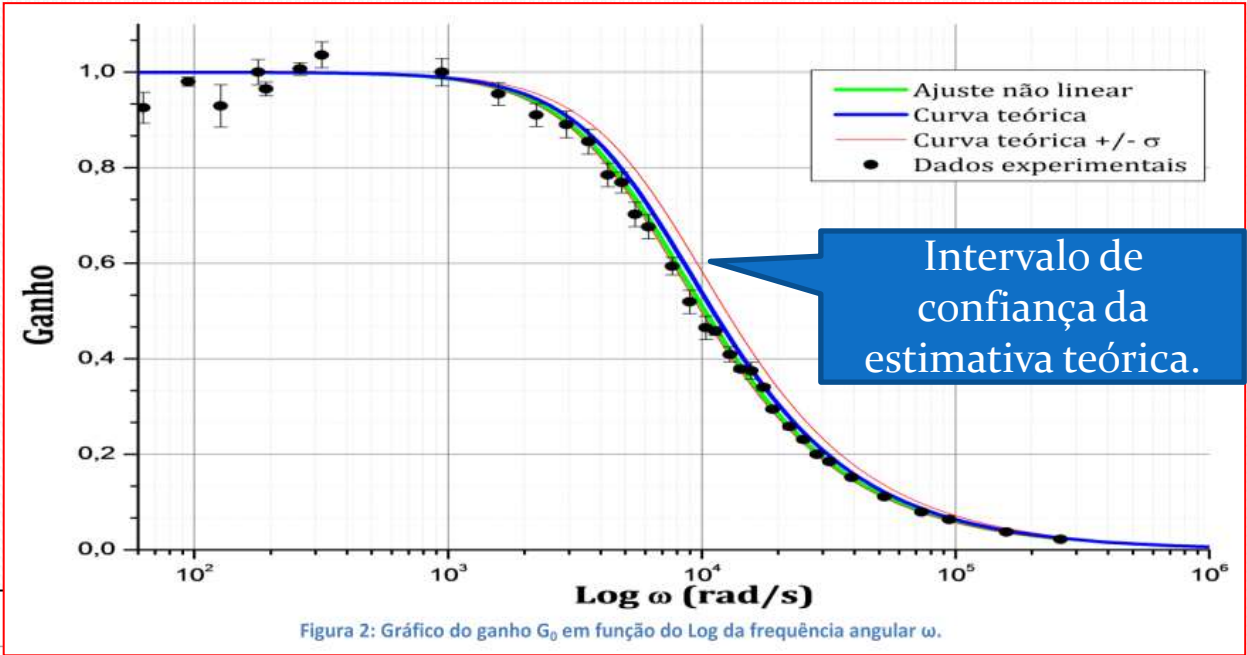
Tarefas 1 – Para a Síntese

Montar um circuito RC com frequência de corte $\sim 1000\text{Hz}$, por exemplo com 330Ω e $0.47\mu\text{F}$. Usando um **sinal de entrada senoidal** e $V_{\text{saida}}=V_C$ fazer:

- Gráfico de G_0 em função de ω
 - Comparar com a curva teórica
 - Fazer os ajustes necessários e tratamento estatístico,
 - ou seja, ajuste não linear por mínimos quadrados e determinação da frequência de corte experimental
- Lembre-se de medir valores $\omega \ll \omega_c$ até $\omega \gg \omega_c$ para poder fazer um bom ajuste.
 - **Vejam tutorial no site do prof. Henrique!**

Alguns Resultados

Wc indicado no gráfico

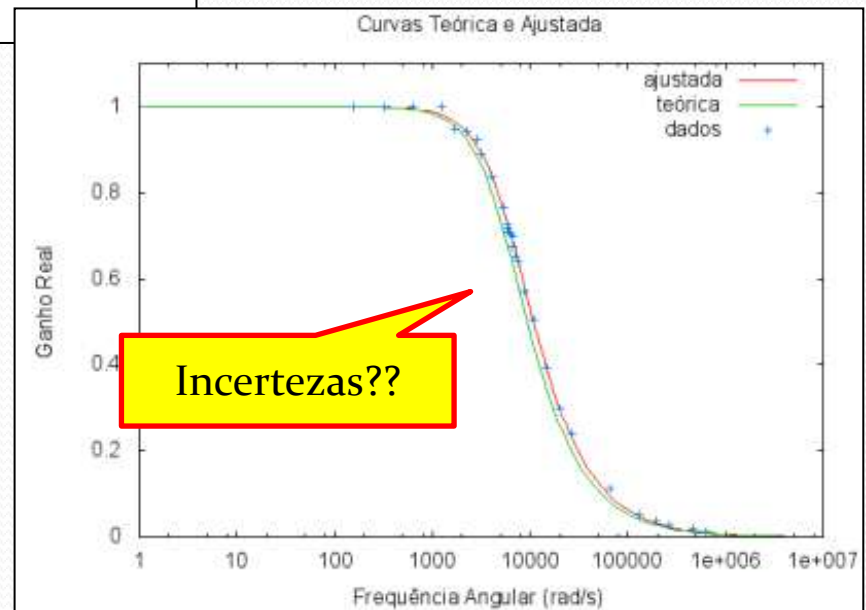
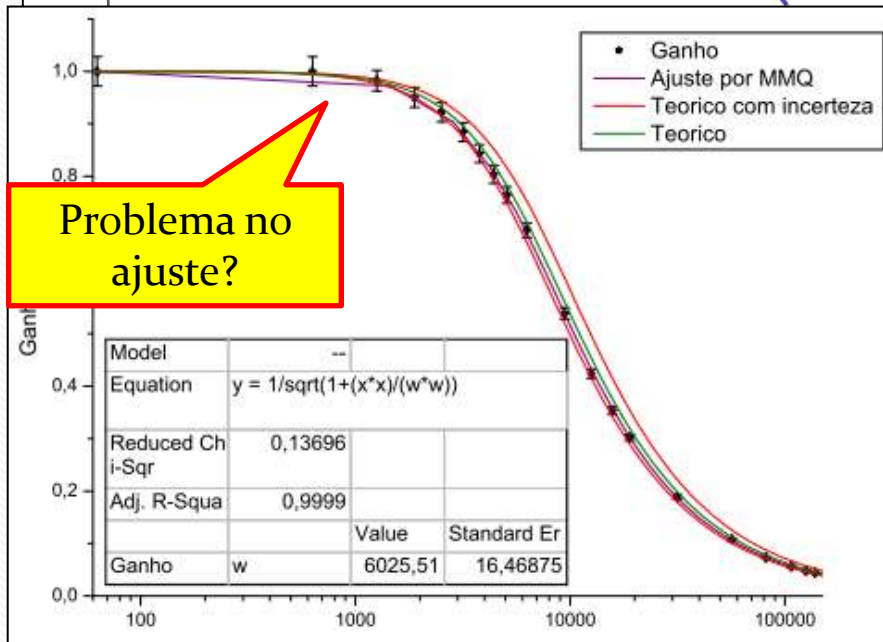
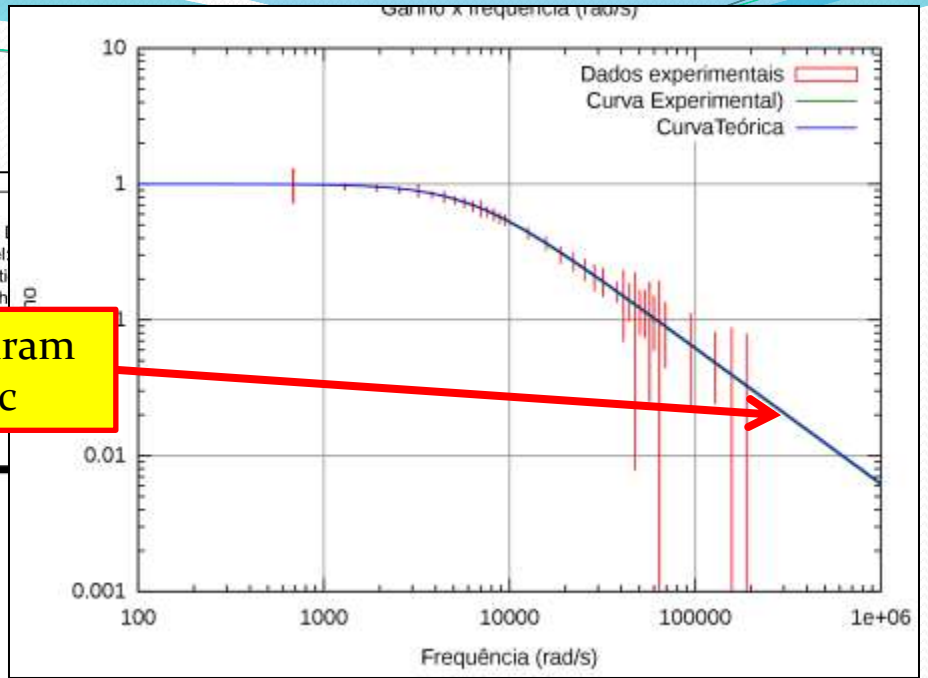
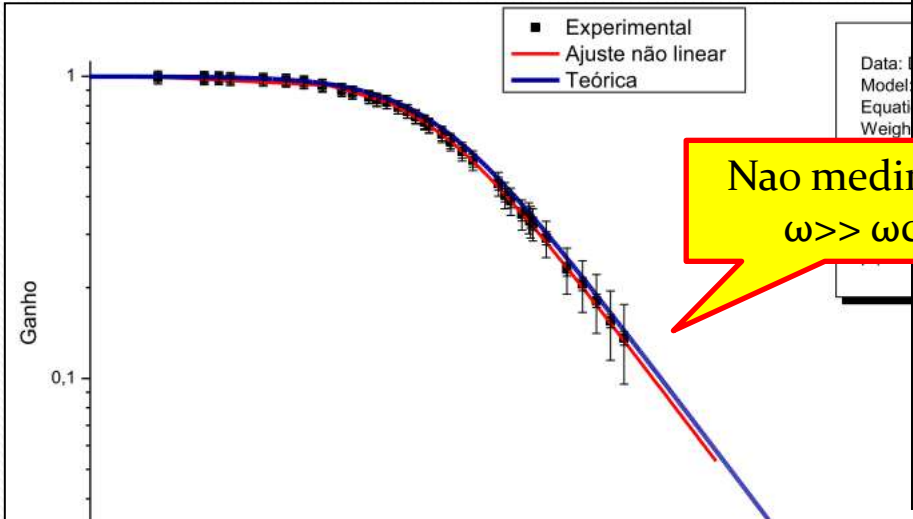


Resíduos para avaliar o ajuste

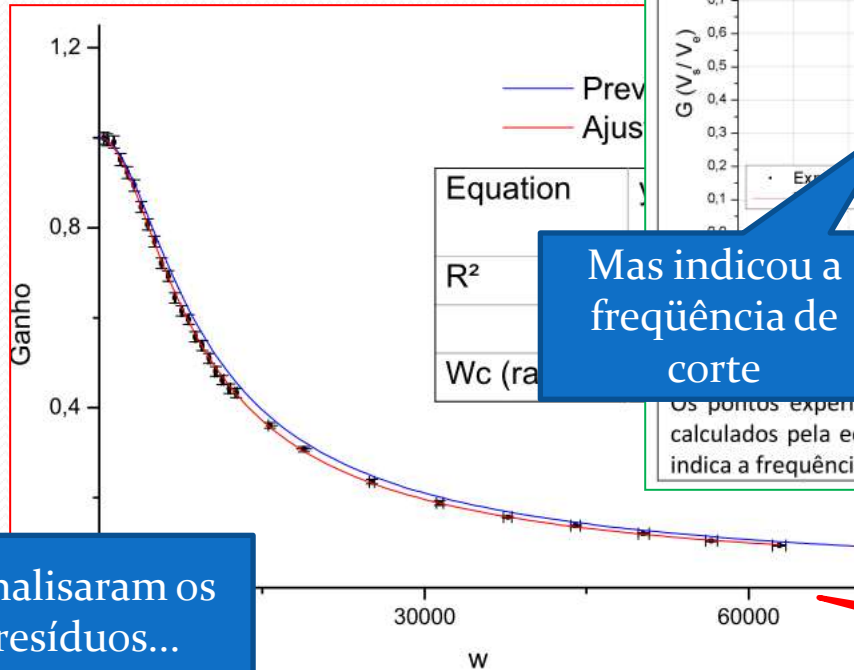
(a) Ganho $G \times \omega$.
 $\omega_{c_{teorico}} = 6447(21) \text{ Rad/s}$ $\omega_{c_{medido}} = 5745(24) \text{ Rad/s}$

(b) Resíduos obtidos pelo ajuste na figura 2a

Detalhes 1



Detalhes 2



Mas indicou a frequência de corte

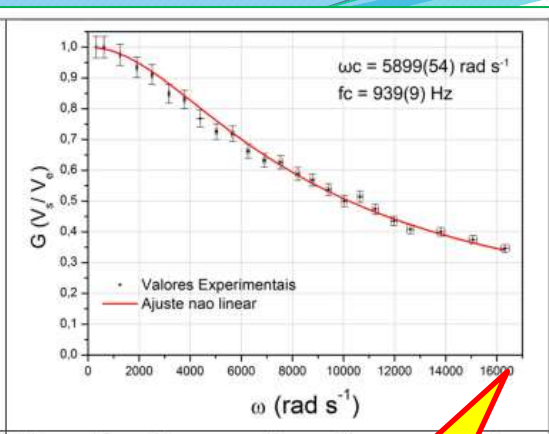
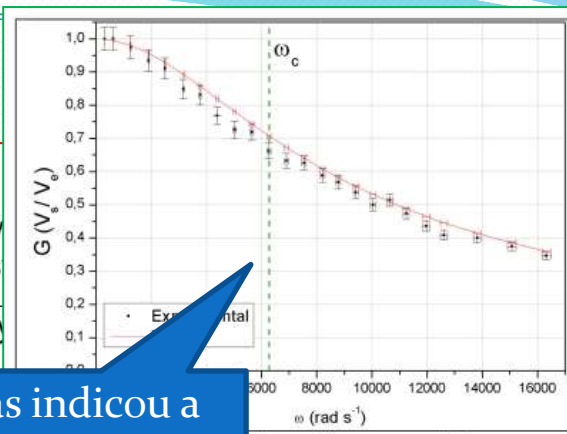
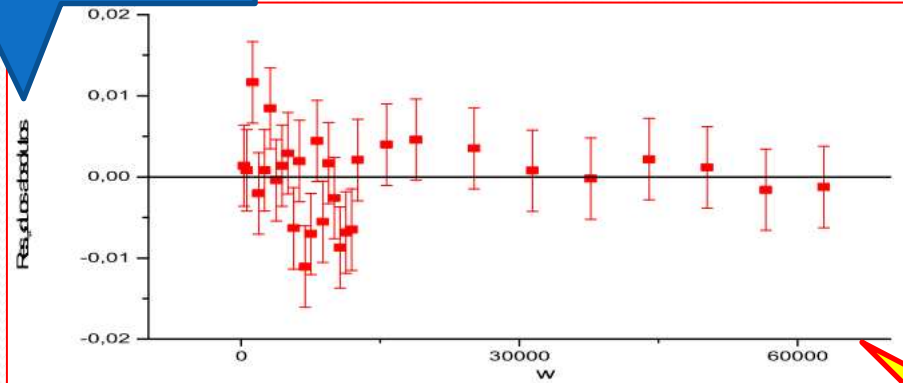


Figura 2 – Em vermelho está representado o ajuste não linear por mínimos quadrados. Os pontos experimentais estão em preto e foram calculados pela equação 2. A linha tracejada verde indica a frequência de corte. χ^2 foi de 0,56

Esse grupo não chegou nem em 2.5khz e nem usou log

Analisaram os resíduos...



... mas não colocaram a escala em log

... e deviam medir frequências maiores...

Propagação de erros

- Cuidado com a propagação dos erros, um dos grupos usou que:

$$G(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + R^2\omega^2C^2}}$$

$$G(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + (R \pm \sigma_r)^2(C \pm \sigma_c)^2(\omega)^2}}$$

- Quando deveria ser:

$$\left(\frac{\Delta\omega_c}{\omega_c}\right)^2 = \left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{C}\right)^2$$

$$(\Delta G)^2 = \left(\frac{\partial G}{\partial \omega_c} \Delta\omega_c\right)^2$$

$$\left(\frac{\Delta G}{G}\right)^2 = \left(\frac{\Delta\omega_c}{\omega_c}\right)^2 \left(\frac{(\omega/\omega_c)^2}{1 + (\omega/\omega_c)^2}\right)^2$$

Ou algo assim...
Façam as contas!

Resposta Turma

Elementos iguais,
incertezas diferentes?

	R (Ω)	C (μF)	fc teo. (khz)	fc exp. (khz)	ω_c (rad/s)	ω_c (rad/s)
H1	$330 \pm 10\%$	$0.47 \pm 10\%$	$1 \pm ??$	0.922 (24)		
H2	$330 \pm 8\%$	$0.47 \pm 10\%$	$\sim 1 \pm ??$	0.970105 (1008)		
H3	331 (6)	0.51 (5)	0.94 (9)	1.00 (1)		
H4	333 (4)	$0.47 \pm 10\%$	1.0174 (1025)	0.958990 ± 2.621083		
H5	330 (4)	$0.47 \pm 10\%$	1.027 (108)	0.9541 (25)		
H6	333 (4)	$0.47 \pm 10\%$	1.019 (95)	0.9465 (41)		
H7	330 (3)	$0.47 \pm 10\%$	1.000 (10)	0.939 (9)		
H8	$330 \pm 5\%$	$0.47 \pm 5\%$	1.026 (51)	0.9538 (24)		
H9	332 (17)	$0.47 \pm 10\%$	1.0200 (33)	0.9143 (38)		

Significativos?

Ninguém usou ω_{exp}
para estimar C ou R

Elementos iguais,
incertezas diferentes?

Porque experimental e
teorico nao sao
compativeis??

Através do ajuste não linear por mínimos quadrados, foi obtido o valor da frequência angular de corte $\omega_c = 59,47(26)\text{E}2 \text{ rad/s}$, sendo que seu valor teórico calculado a partir da capacitância e resistência é $\omega_c = 64(6)\text{E}2 \text{ rad/s}$, obtendo assim o teste $z = 0,75$, portanto compatível em até 1 desvio padrão. Porém, vale ressaltar que os valores se mostram compatíveis devido a alta incerteza da capacitância (de 10%).

Resultados da Turma

	R (Ω)	C (μF)	fc teo. (khz)	fc exp. (khz)
H1	330 \pm 10%	0.47 \pm 10%	1 \pm ??	0.922 (24)
H2	330 \pm 8%	0.47 \pm 10%	\sim 1 \pm ??	0.970105 (1008)
H3	331 (6)	0.51 (5)	0.94 (9)	1.00 (1)
H4	333 (4)	0.47 \pm 10%	1.0174 (1025)	0.958990 \pm 2.621083
H5	330 (4)	0.47 \pm 10%	1.027 (108)	0.9541 (25)
H6	333 (4)	0.47 \pm 10%	1.019 (95)	0.9465 (41)
H7	330 (3)	0.47 \pm 10%	1.000 (10)	0.939 (9)
H8	330 \pm 5%	0.47 \pm 5%	1.026 (51)	0.9538 (24)
H9	332 (17)	0.47 \pm 10%	1.0200 (33)	0.9143 (38)

1011 \pm 27 (rms) \pm 62 (med)

952 \pm 26 (rms) \pm 8 (med)

Médias incompatíveis?

1011 \pm 9 (σ_{med}) e
952 \pm 9 (σ_{med})

O desvio padrão dos vários resultados é 3x o erro médio reportado => provável erro sistemático (metodologia diferente entre os grupos)

Resultados da Turma

	F mínima (Hz)	F máxima (kHz)	fc exp. (khz)
H1	63	7	0.922 (24)
H2	110	31.8	0.970105 (1008)
H3	10	111.4	1.00 (1)
H4	60	23.8	0.958990 ± 2.621083
H5	0	10.5	0.9541 (25)
H6	60	39.8	0.9465 (41)
H7	100	2.5	0.939 (9)
H8	20	53	0.9538 (24)
H9	50	36	0.9143 (38)



Discussão extra

1. Experimental x Teórico

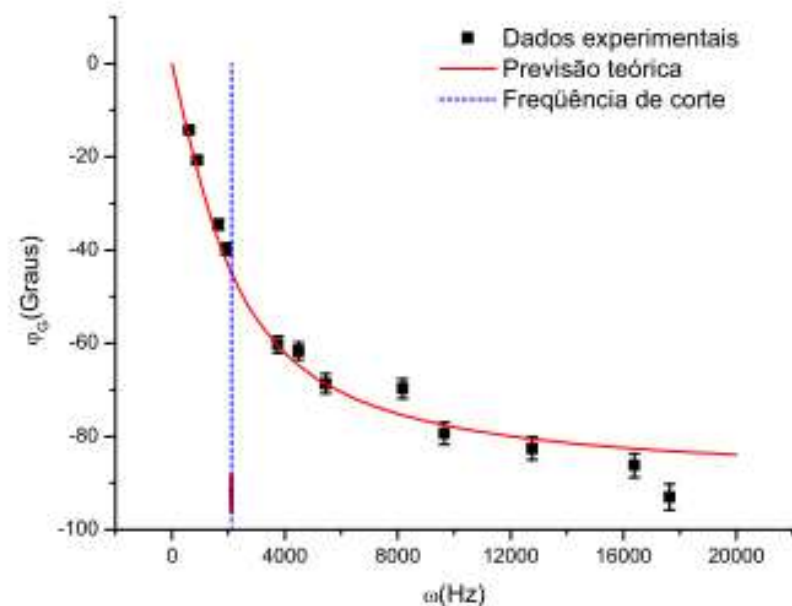
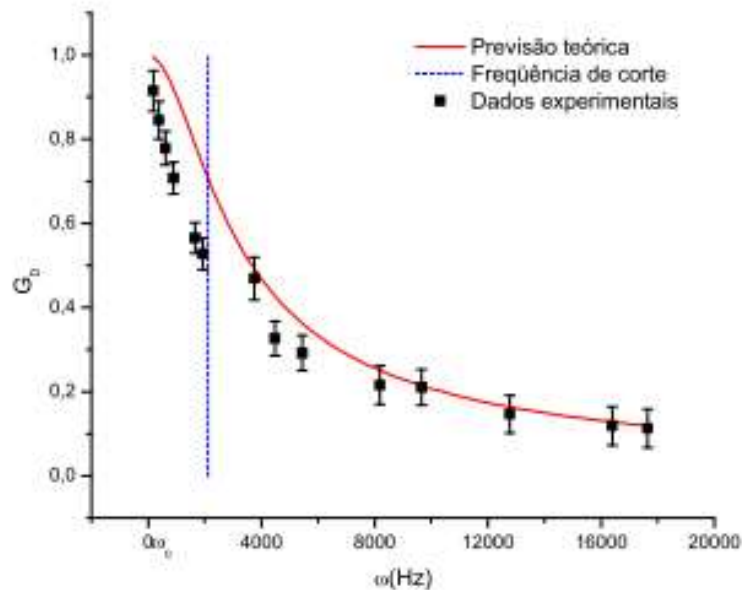
Comparar Medidas e Teoria

Filtro RC

- Gráfico de G_0 em função de ω
 - Comparar com o esperado teoricamente

O que significa comparar com a teoria ?

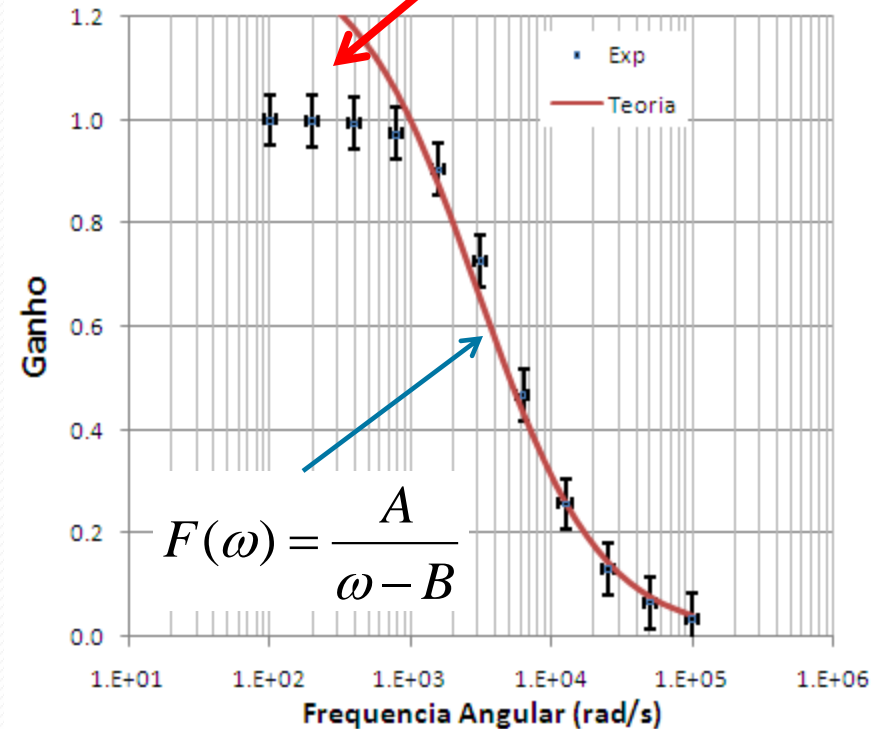
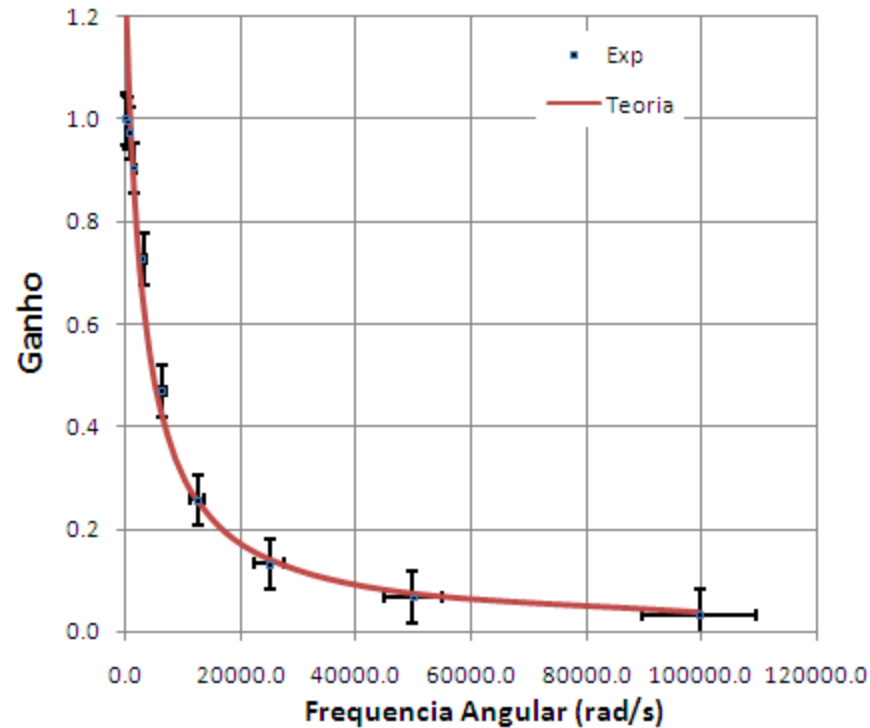
Será que uma comparação visual é suficiente ?



Comparação Visual

- Este ajuste está:
 - Bom ?
 - Muito bom ?
 - Perfeito?

Mesmo gráfico mas na escala apropriada. Completamente errado para baixas frequências!



Que outros métodos aprendemos nos lab₁, 2 e 3 ?

Comparar Medidas e Teoria

- Ajustar os dados à função desejada
 - Comparar o valor experimental de ω_c com aquele esperado teoricamente

$$\omega_c^{\text{exp}} \text{ é compatível com } \omega_c = \frac{1}{RC} \quad ??$$

- Para a comparação fazer sentido, o erro em ω_c^{exp} deve ser pequeno. Como assegurar isso?
 - Tomada de dados \Rightarrow Escolher como fazer as medidas
 - Quantos pontos? Em que região medir? Porque?

Mínimos Quadrados

- Neste caso, nossa função só tem $M=1$ parâmetros:

$$G_0(\omega) = \left(1 + (\omega / \omega_c)^2\right)^{-1/2}$$

- Portanto o χ^2_{red} também:

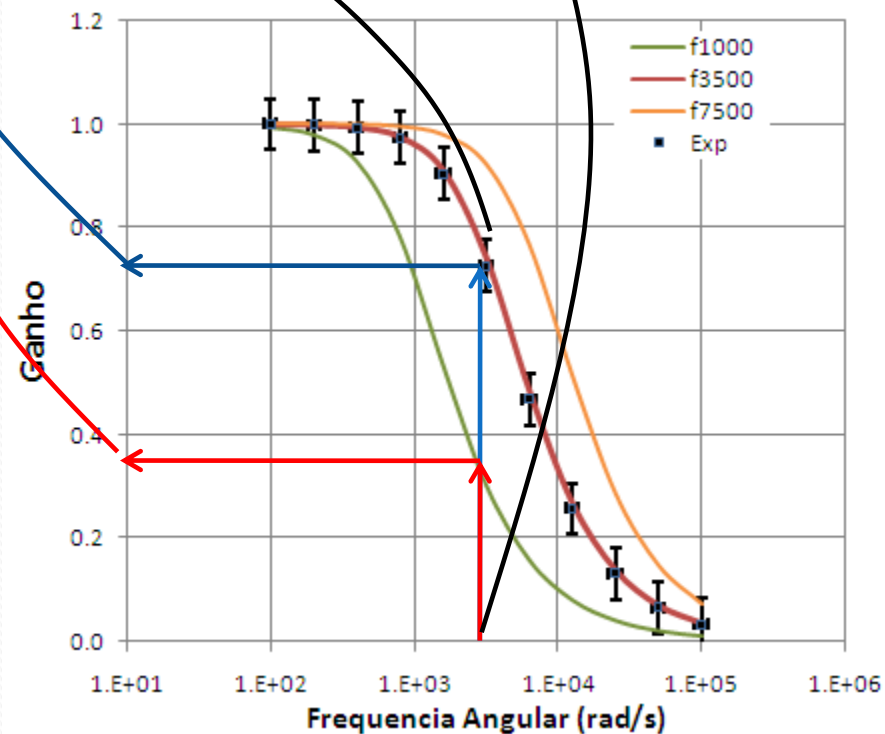
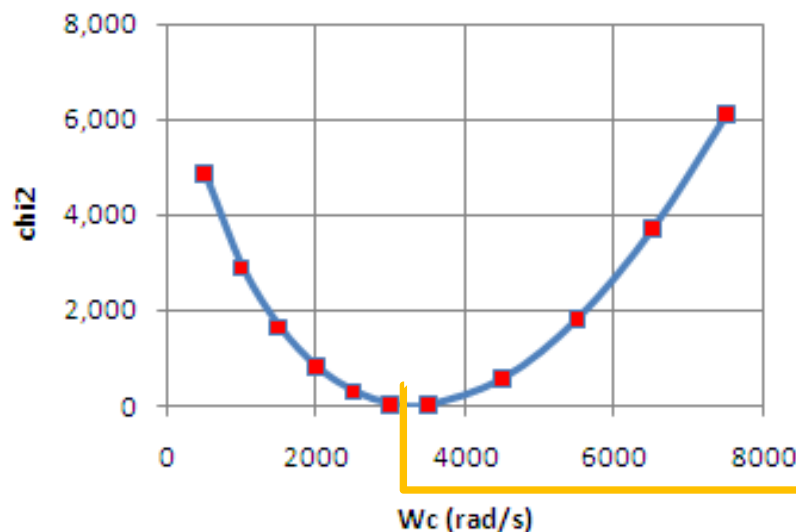
$$\chi^2_{red}(\omega_c) = \frac{1}{N - M} \sum_{i=1}^N \frac{(y_i - f_i(x_i, \omega_c))^2}{\sigma_i^2}$$

- Além disso, como χ^2 depende dos erros σ_i , ele também é uma variável aleatória. O interessante é que sua média vale 1 e sua variância vale 2.
 - **Os erros precisam ser gaussianos e independentes!**

Analizando χ^2

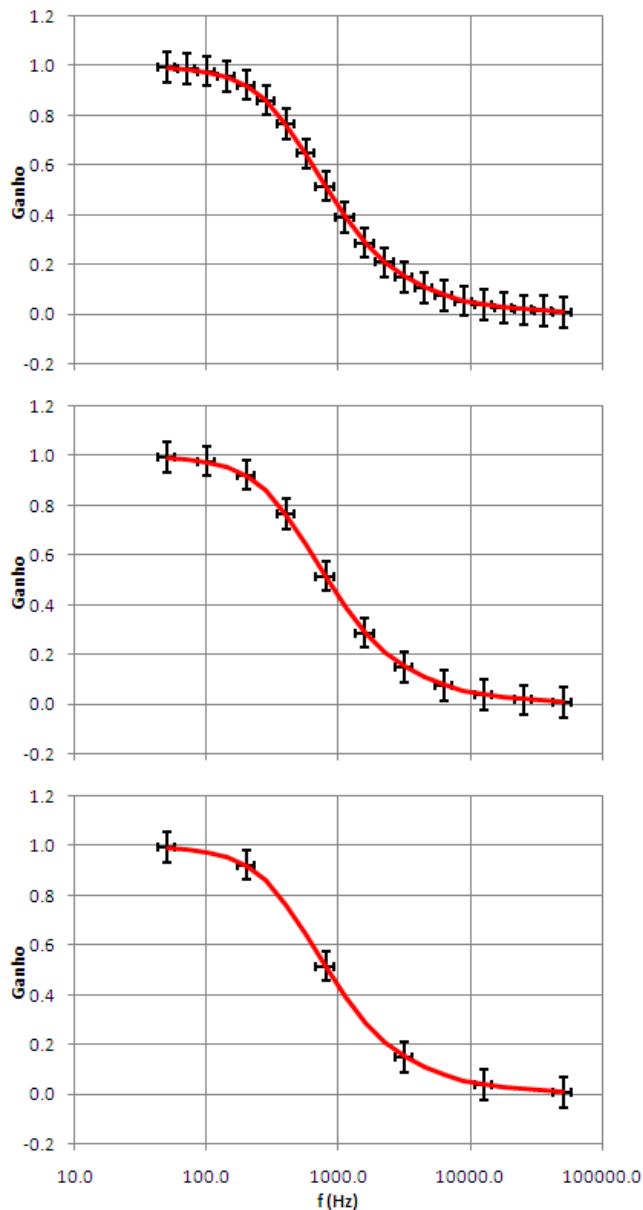
$$\chi^2_{red}(\omega_c) = \frac{1}{N - M} \sum_{i=1}^N \frac{(y_i - f_i(x_i, \omega_c))^2}{\sigma_i^2}$$

Repetindo o processo para vários valores diferentes de ω_c , podemos construir um gráfico de χ^2 x ω_c .

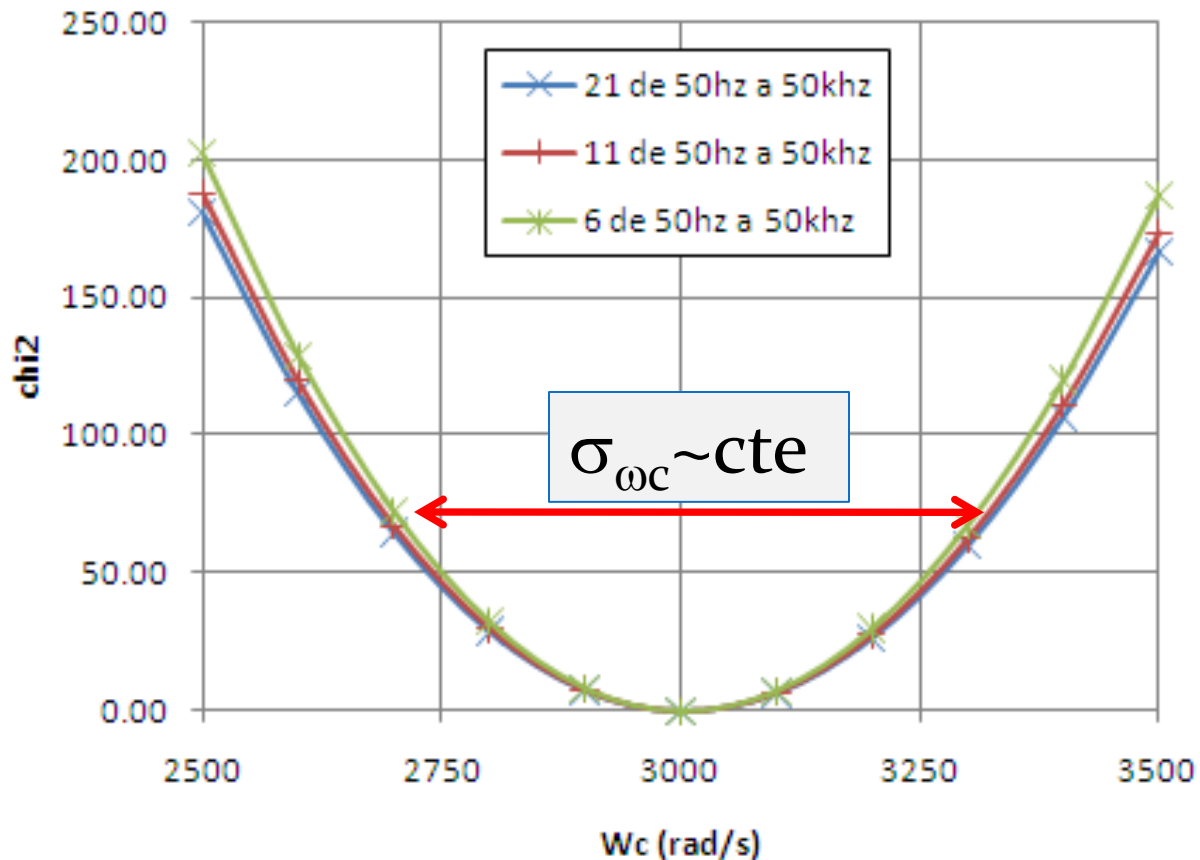


Escolhemos o ω_c que minimiza o χ^2

Número de Pontos?

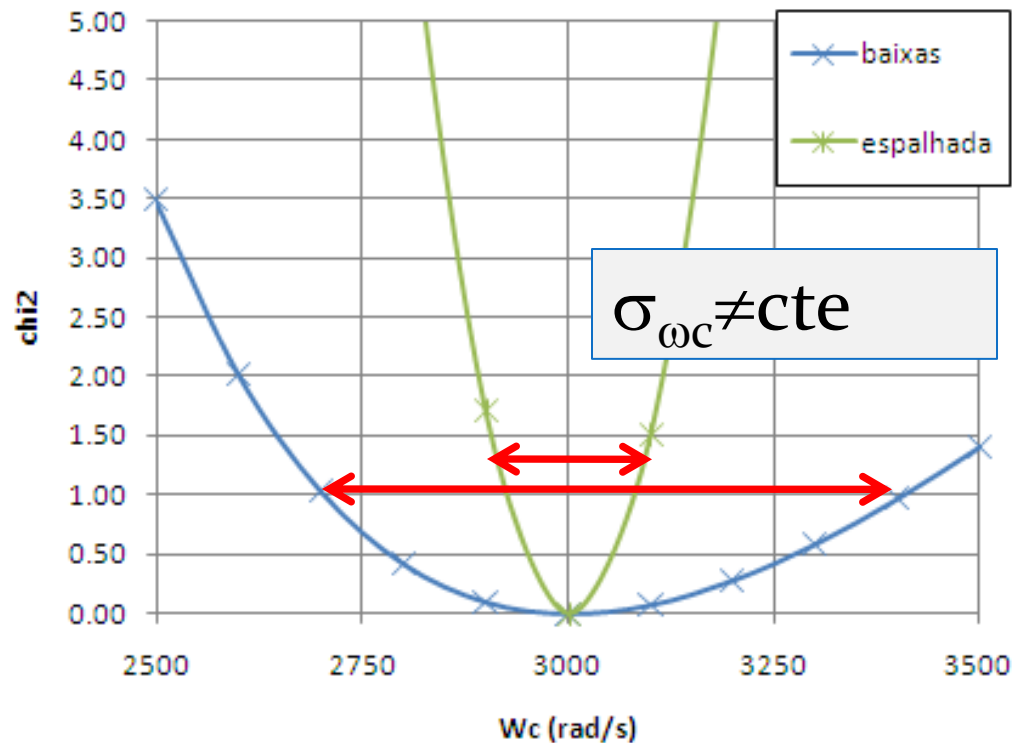
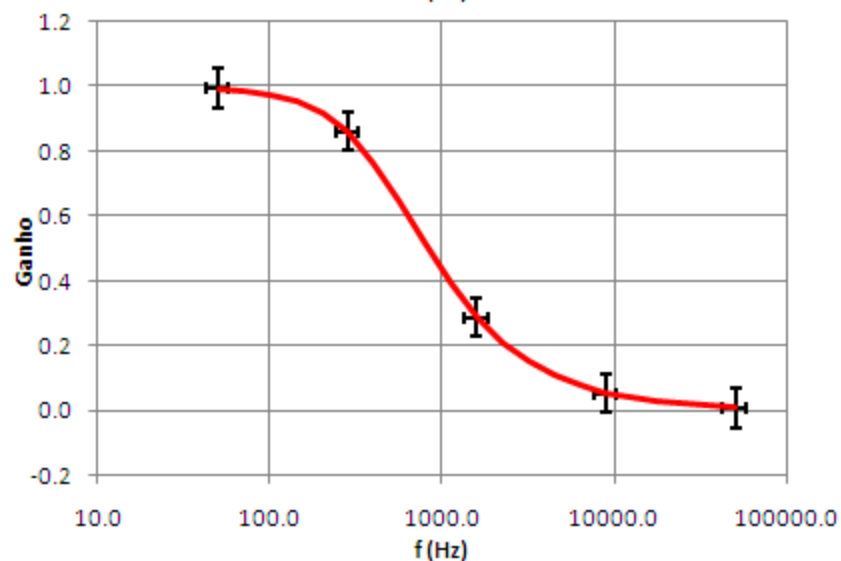
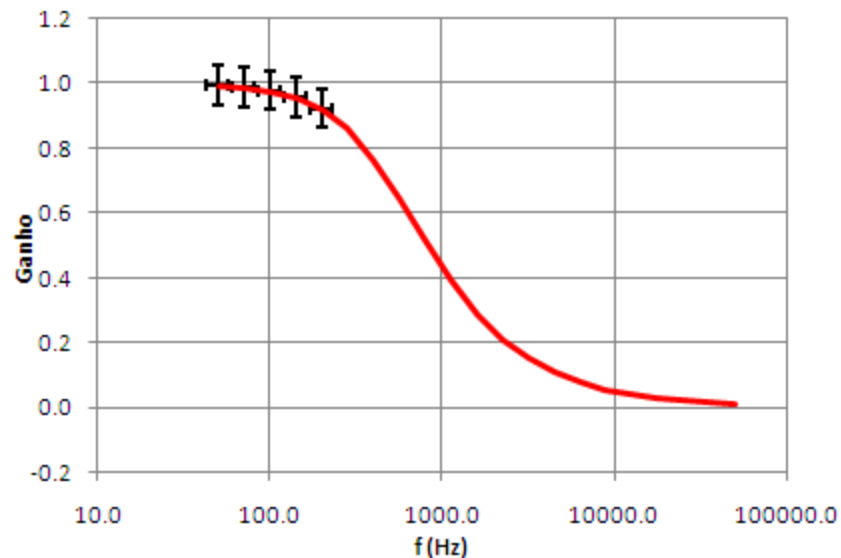


Pode-se tomar poucos pontos, desde que eles estejam suficientemente distribuídos ao longo da região em que a função varia!



Que região medir?

Analisando a distribuição χ^2 pode-se determinar que região medir e como espaçar os dados coletados!



Qualidade do ajuste

5 Apêndice

Como teste de compatibilidade, utilizamos o χ^2 e o $\chi_{reduzido}^2$, dados por

$$\chi^2 = \Sigma \left(\frac{\mu - X_i}{\sigma_i} \right)^2 \quad (4)$$

$$\chi_{reduzido}^2 = \frac{\chi^2}{N - 1}, \quad (5)$$

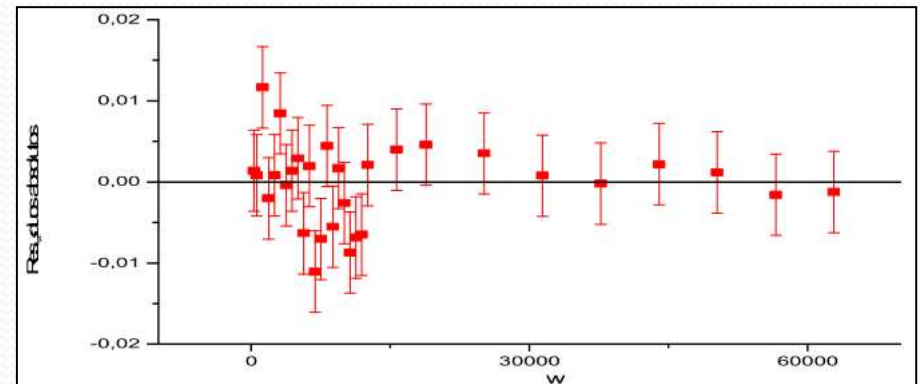
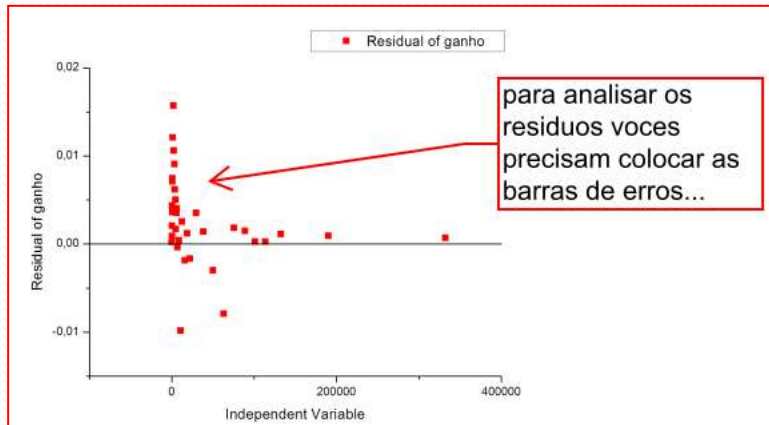
onde N é o número de dados comparados. A incerteza do $\chi_{reduzido}^2$ é dada por

$$\sigma_{\chi_{reduzido}^2} = \sqrt{\frac{2}{N - 1}} \quad (6)$$

Se o $\chi_{reduzido}^2$ for compatível com 1 dentro de sua incerteza, o ajuste é razoável e os dados são compatíveis entre si. Para comparação individual entre os dados, pode-se observar se há alguma tendência, ou discrepância maior que o intervalo de confiança da compatibilidade do ajuste.

Resíduos

- Para analisar os resíduos é preciso colocar as barras de erro, caso contrario não eh possível avaliar se são compatíveis com zero.



Tarefas 2 – Para o Relatório

Montar um circuito RC com frequência de corte $\sim 1000\text{Hz}$, por exemplo com 330Ω e $47\mu\text{F}$. Usando um **sinal de entrada senoidal** e $V_{\text{saida}} = V_C$ fazer:

- Gráfico de ϕ_G em função de ω
 - Comparar com o esperado teoricamente para o capacitor
 - Fazer ajustes necessários e tratamento estatístico
- Faça as medidas esta semana! Mas estes resultados/análise serão cobrados apenas no relatório.

Nenhum grupo apresentou na síntese

Objetivos

- Estudar circuitos elétricos em corrente alternada com a finalidade de explorar fenômenos caóticos
- Aprender algumas técnicas avançadas de processamento de sinais e análise de dados
- 5 aulas
 - Noções de CA, filtro RC
 - Circuito integrador e análise de Fourier
 - Ressonância de um circuito RLC simples
 - Funções caóticas: mapa logístico
 - Caos em circuito RLD

Joseph Fourier(1768-1830)

- Aos 12 anos foi estudar no *Ecole Royale Militaire of Auxerre*
- Aos 14 anos concluiu os estudos dos 6 volumes do *Bézout's Cours de mathematique*
- Aos 15 ganhou um prêmio por seus estudos do livro *Bossut's Méchanique en général*
- Aos 19 entrou no mosteiro beneditino de St. B. virar padre, mas continuou estudando matemática aos 21
- Aos 22 tornou-se professor na *Ecole of Auxerre*
- Quanto completou 26, foi fundada a *Ecole Normale*. Fourier estava na primeira turma. Teve como professor
- Aos 27 foi indicado para uma cadeira da *Ecole Polytechnique* (dir. Carnot e Monge) => *Ecole Polytechnique*



Joseph Fourier(1768-1830)

- Aos 29 substituiu Lagrange na cadeira de análise e mecânica
- Aos 30 assumiu o posto de conselheiro científico no exército de Napoleão que invadiria o Egito. Monge e Malus também estavam na equipe.
- Durante sua estada no Cairo trabalhou como administrador, criando instituições de educação. Também fez explorações arqueológicas.
- Aos 31 retornou a Paris, mas a contra gosto foi nomeado por Napoleão prefeito de Grenoble. Trabalhou então na drenagem dos pântanos da Borgonha e na rodovia ligando Grenoble a Torino.
- Foi durante este tempo em Grenoble que ele fez seu trabalho científico mais importante: *Sobre a propagação de calor em corpos sólidos*.
- Fourier introduziu séries infinitas de funções para resolver a equação de transferência de calor em uma placa de metal.

Série de Fourier (1807)

- Só haviam soluções particulares para fontes de calor senoidal. A idéia foi modelar uma fonte de calor complicada como uma combinação linear de senos e cossenos.
- Objeções da banca (não aprovou o trabalho):
 - Laplace e Lagrange não aceitaram a derivação teórica
 - Biot, Poisson e Laplace reclamaram que ele não citou o paper de 1804 de Biot (que hoje sabemos estar errado)
- Em 1811 o prêmio anual do Instituto de Ciências de Paris iria para quem resolvesse a equação de transporte de calor e Fourier submeteu o tratado de 1807.
- O comitê formado por Lagrange, Laplace, Malus, Hauy e Legendre deram o prêmio para Fourier pois só havia +1 concorrente:
 - *... the manner in which the author arrives at these equations is not exempt of difficulties and that his analysis to integrate them still leaves something to be desired on the score of generality and even rigour.*

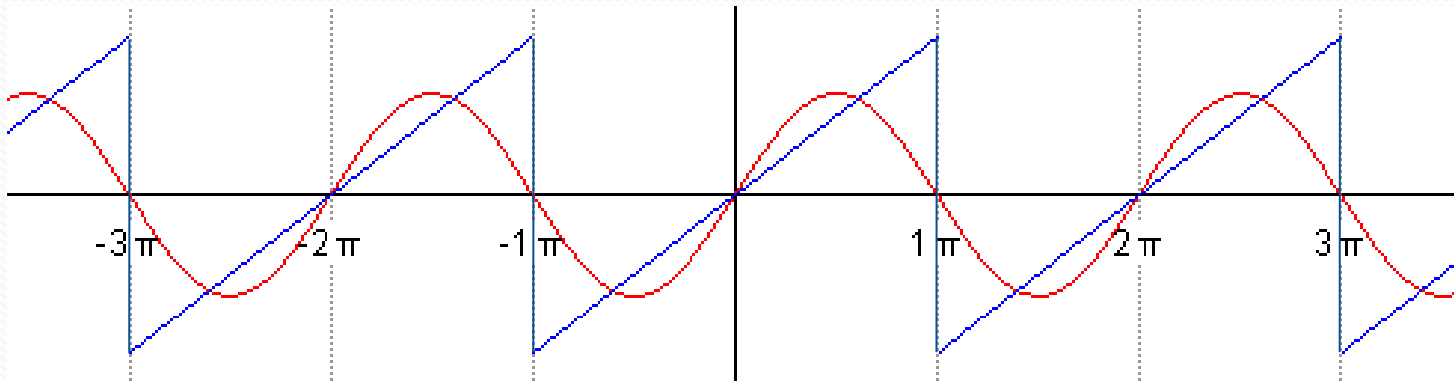
Séries de Fourier

- Funções trigonométricas podem ser combinadas de tal forma a representar qualquer função matemática

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_n (a_n \cos(nx) + b_n \sin(nx))$$

- As constantes a_n e b_n podem ser obtidas a partir de:

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos(nx) dx \quad b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin(nx) dx$$



Séries de Fourier

Hoje em dia, usamos formalismos mais abrangentes:

$$f(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{jnx}$$

$$c_n = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) e^{-jnx} dx$$

Use a fórmula de Euler e substitua na expressão anterior

$$e^{jx} = \cos x + j \sin x$$

As constantes a_n e b_n da expressão tradicional podem ser obtidas como:

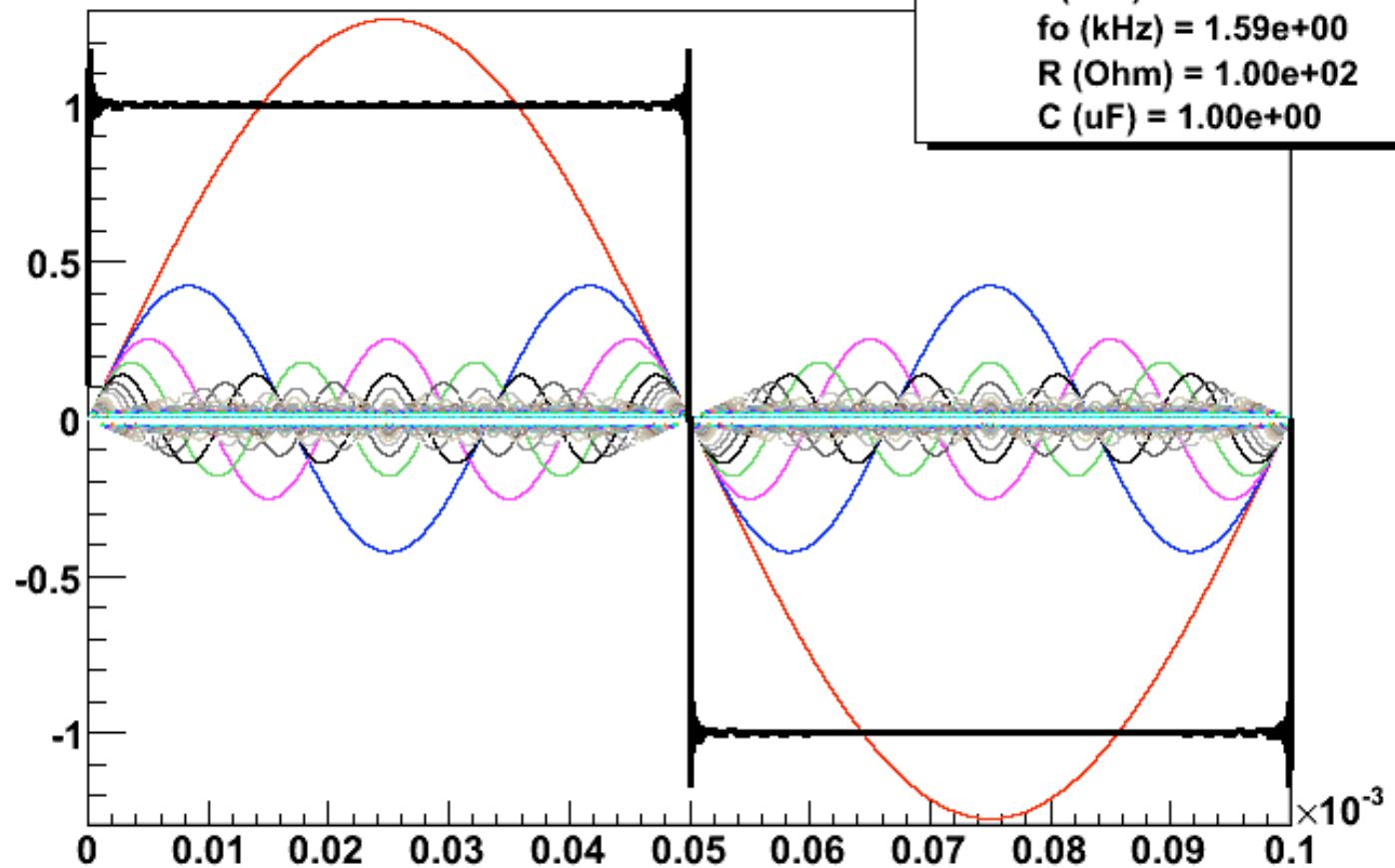
$$a_n = c_n + c_{-n}, \text{ com } n = 0, 1, 2, \dots$$

$$b_n = j(c_n - c_{-n}), \text{ com } n = 0, 1, 2, \dots$$

Exemplo: Onda Quadrada

$$V(t) = V_0 \frac{4}{\pi} \left[\sin(\omega t) + \frac{\sin(3\omega t)}{3} + \frac{\sin(5\omega t)}{5} + \dots \right]$$

Onda quadrada N = 500



De volta ao circuito RC

- Se o sinal de entrada for quadrado, como resolvemos a equação diferencial?

$$\hat{V}_e(t) = \frac{1}{\omega_0} \frac{d\hat{V}_C(t)}{dt} + \hat{V}_C(t), \text{ mas } \hat{V}_e(t) = \sum_n v_n^e e^{j\omega_n t}$$

- Substituindo

$$\sum_n v_n^e e^{j\omega_n t} = \frac{1}{\omega_0} \frac{d\hat{V}_C(t)}{dt} + \hat{V}_C(t), \text{ e fazendo } \hat{V}_C(t) = \sum_n \hat{v}_n^C e^{j\omega_n t}$$

$$\sum_n v_n^e e^{j\omega_n t} = \sum_n \left[\left(j \frac{\omega_n}{\omega_0} + 1 \right) \hat{v}_n^C e^{j\omega_n t} \right]$$

De volta ao circuito RC

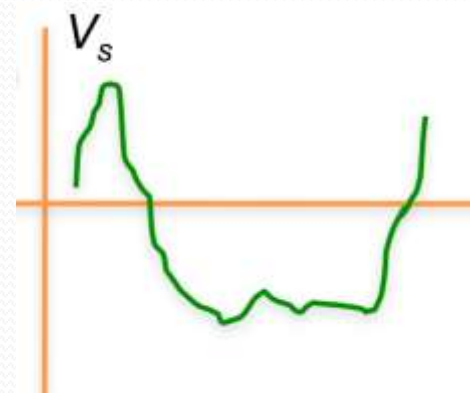
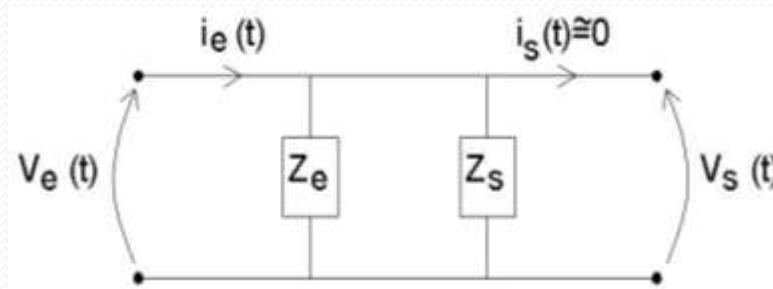
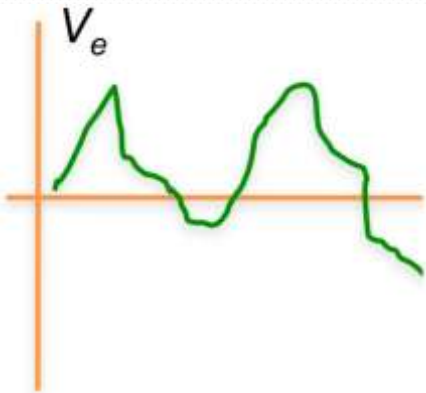
- Esta equação pode ser desmembrada em um sistema de equações diferenciais:

$$v_n^e e^{j\omega_n t} = \left(j \frac{\omega_n}{\omega_0} + 1 \right) \hat{v}_n^C e^{j\omega_n t}, n = 1, 2, \dots$$

- Cujas soluções são:

$$\hat{v}_n^C = \frac{v_n^e}{j \frac{\omega_n}{\omega_0} + 1}, n = 1, 2, \dots$$

O que o circuito faz no sinal?



$$\begin{aligned}
 V_{entrada} &= V_1^S \sin(\omega_1 t) \\
 &+ V_1^C \cos(\omega_1 t) \\
 &+ V_2^S \sin(\omega_2 t) \\
 &+ V_2^C \cos(\omega_2 t) \\
 &+ \dots \\
 &+ V_N^S \sin(\omega_N t) \\
 &+ V_N^C \cos(\omega_N t)
 \end{aligned}$$

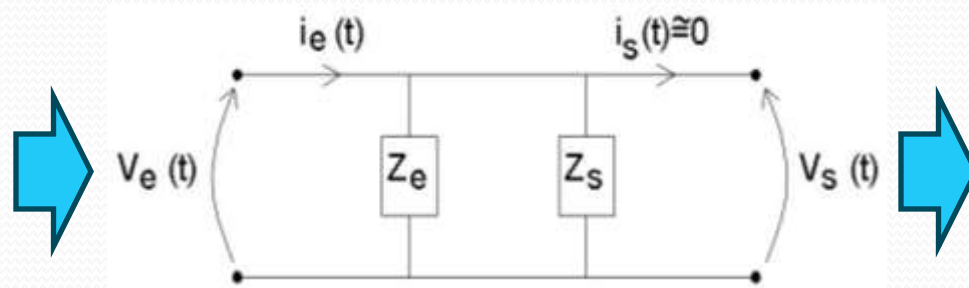
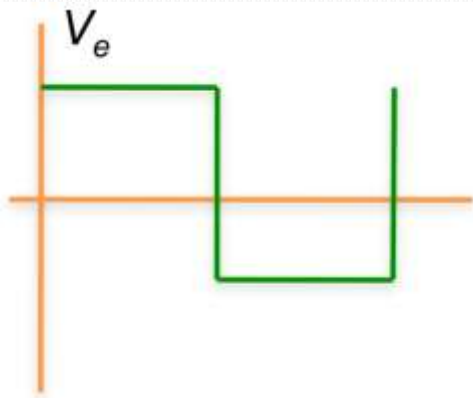


$$\begin{aligned}
 G_i &= G(\omega_i, R, C) \\
 \phi_i &= \phi(\omega_i, R, C)
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 V_{saida} &= V_1^S G_1 \sin(\omega_1 t + \phi_1) \\
 &+ V_1^C G_1 \cos(\omega_1 t + \phi_1) \\
 &+ V_2^S G_2 \sin(\omega_2 t + \phi_2) \\
 &+ V_2^C G_2 \cos(\omega_2 t + \phi_2) \\
 &+ \dots \\
 &+ V_N^S G_N \sin(\omega_N t + \phi_N) \\
 &+ V_N^C G_N \cos(\omega_N t + \phi_N)
 \end{aligned}$$

Exemplo: Onda quadrada



?

$$V_e = \begin{cases} \frac{4V_0}{\pi} \sin(\omega t) + \\ \frac{4V_0}{3\pi} \sin(3\omega t) + \\ \frac{4V_0}{5\pi} \sin(5\omega t) + \\ \dots \end{cases}$$



$$G(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega / \omega_c)^2}}$$

$$\phi(\omega) = \tan^{-1}(-\omega / \omega_c)$$

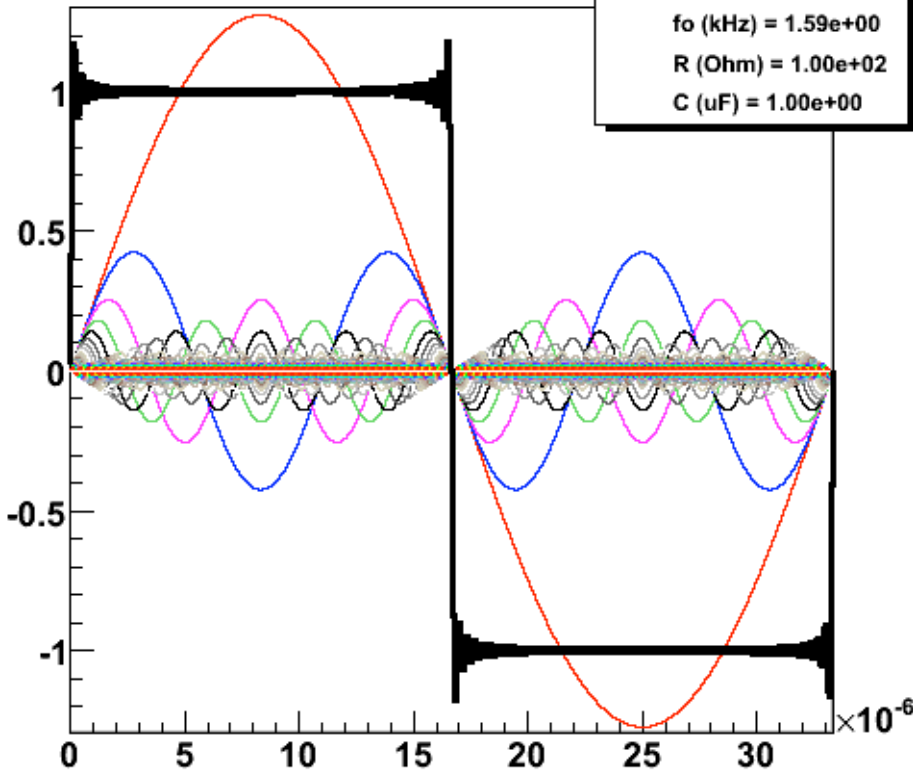


$$V_s = \begin{cases} G_{\omega} \frac{4V_0}{\pi} \sin(\omega t + \phi_{\omega}) + \\ G_{3\omega} \frac{4V_0}{3\pi} \sin(3\omega t + \phi_{3\omega}) + \\ G_{5\omega} \frac{4V_0}{5\pi} \sin(5\omega t + \phi_{5\omega}) + \\ \dots \end{cases}$$

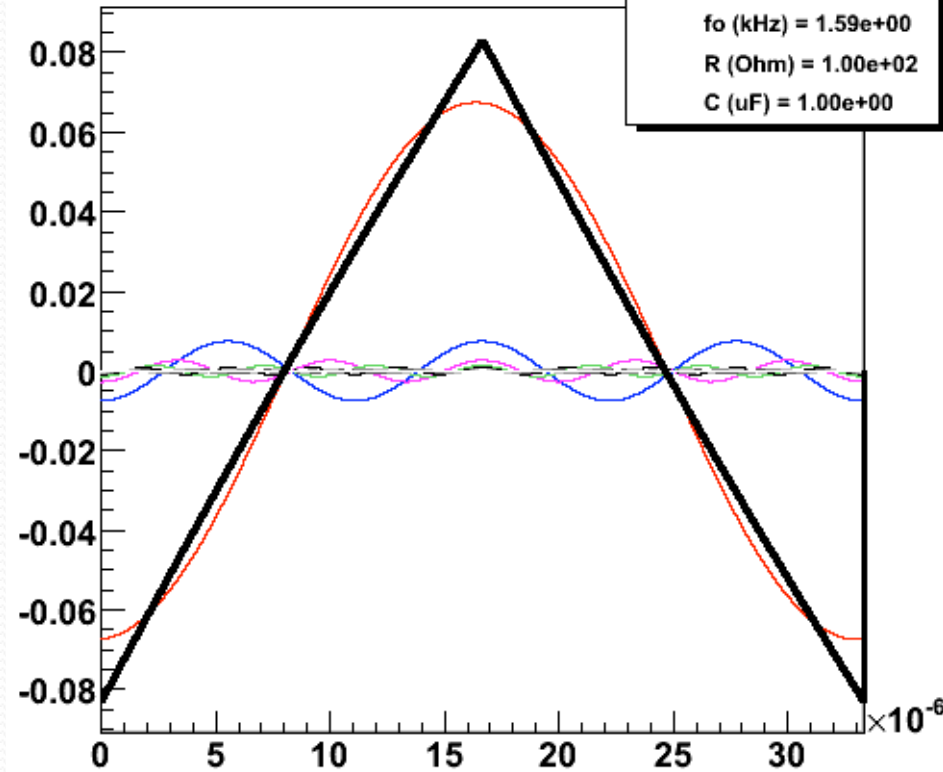
Filtro RC ($R=100$, $C=1\mu\text{F}$) $F_c \sim 1.5\text{kHz}$

30000Hz

Onda quadrada N = 100



Onda quadrada apos filtro RC N = 100



Resultado

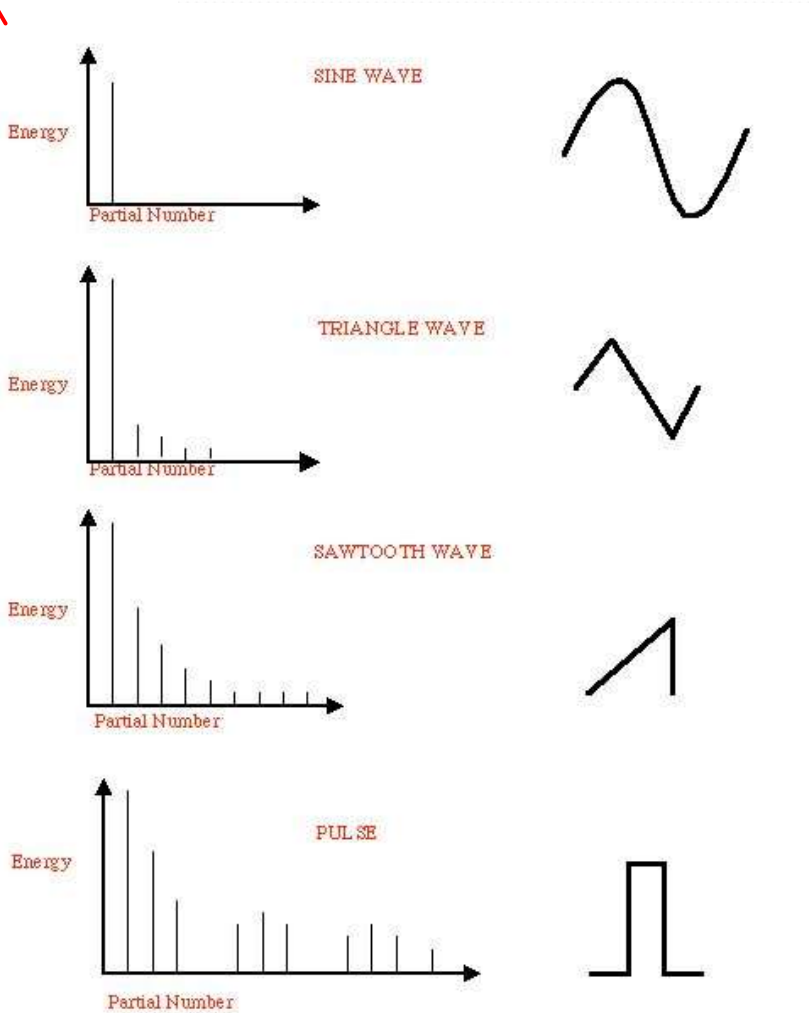
- Nessa série de imagens o que vemos é:
 - À medida que aumentamos a frequência, o circuito passou de um bom filtro passa-baixa a um bom integrador.
- E isso foi feito com um programa que:
 - decompõe a onda quadrada da entrada numa série de Fourier
 - aplica a cada componente da onda quadrada o ganho e a fase
 - soma tudo e recompõe a onda na saída.
- Então podemos simular o que o circuito **RC** faz com um algoritmo, graças a Fourier

Como Analisar as Frequências de um Sinal

- Análise de Fourier ou transformada de Fourier
 - É um gráfico no qual o eixo-X representa a frequência da componente de Fourier e o eixo-Y mostra a amplitude daquela componente
 - Deste modo pode-se ver claramente qual a contribuição de cada harmônica para o sinal final e podemos projetar os circuitos com o mínimo de interferência
 - Abre inúmeras possibilidades para tratamento de sinais e imagens.
- Métodos numéricos de obtenção para sinais discretos
 - FFT " Fast Fourier Transform

Como encontrar a série de Fourier para um sinal?

Amp (V)



Um seno puro só tem uma frequência, então sua transformada é uma função delta de Dirac!

Transformada direta:

$$\hat{f}(\omega) = \int_{\mathbb{R}^n} f(x) e^{-i\omega x} dx.$$

Transformada inversa:

$$f(x) = \frac{1}{(2\pi)^n} \int_{\mathbb{R}^n} \hat{f}(\omega) e^{i\omega x} d\omega.$$

f (Hz)

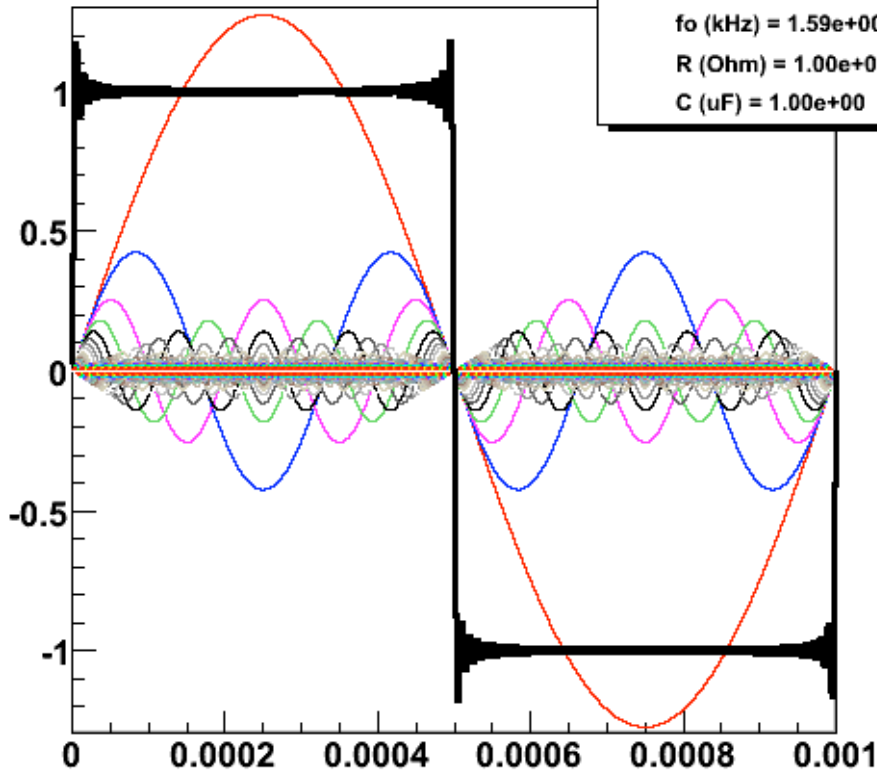
Exemplo: Onda Quadrada

Sinal

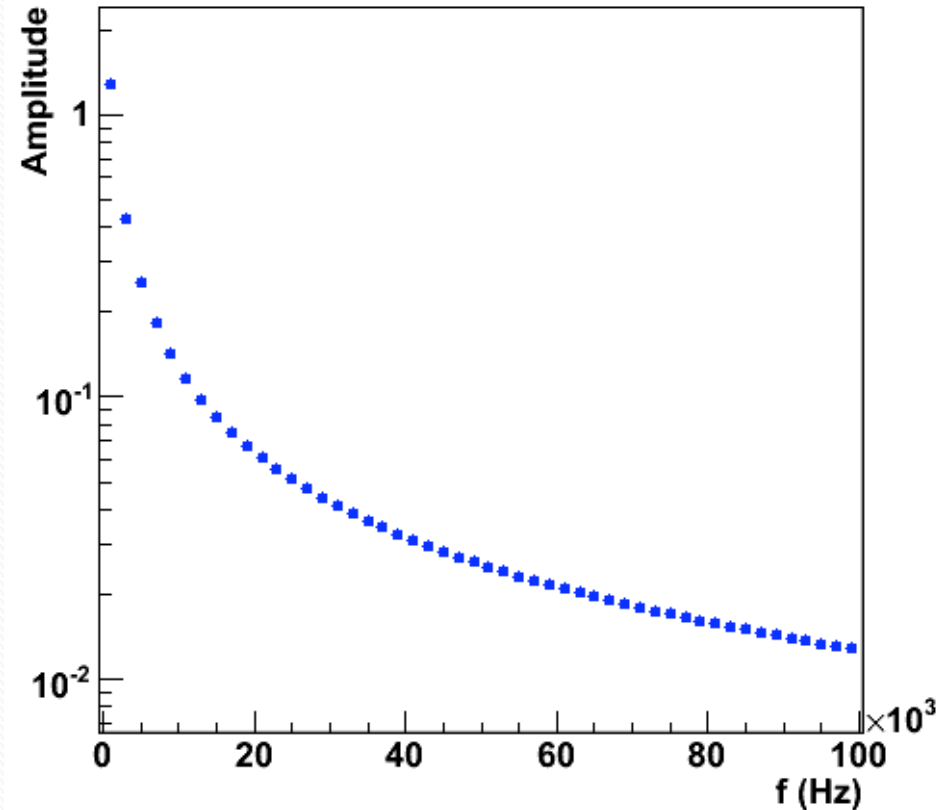
Transformada de Fourier
Espectro de amplitude

Onda quadrada N = 100

— Sinal somado
f (kHz) = 1.00e+00
fo (kHz) = 1.59e+00
R (Ohm) = 1.00e+02
C (uF) = 1.00e+00



FFT Onda quadrada



Tarefas 1 – Para Síntese

Usando o mesmo circuito da semana passada, mas agora com **uma onda quadrada na entrada e $f_c=200\text{hz}$** :

- Meça V_c e V_e no DataStudio e salve os dados para uma frequência tal que:
 - $\omega \gg \omega_c$ (~15 vezes maior)
- Mostre com os dados obtidos que o sinal de saída é proporcional à integral do sinal de entrada:
 - Neste caso, como a entrada é um sinal quadrado, significa que a saída será um triângulo, certo?
 - Mostre que as “inclinações” medidas e teóricas da onda triangular na saída são compatíveis

Tarefas 2 – Para Relatório

- Faça a análise de Fourier de uma **onda quadrada** no DataStudio. Fotografe e anote as amplitudes e frequências
 - ▣ Gráfico de **amplitude X frequência**.
 - ▣ Lembre que deve usar a onda quadrada fornecida pela fonte do DataStudio para analisar a onda quadrada usando a função fft do mesmo (o gerador de áudio traz muito ruído, que o DataStudio não consegue eliminar, além do perigo de exceder a tensão máxima que a interface suporta e queimá-la)
- Faça a análise de Fourier de uma **onda triangular** no DataStudio. Fotografe e anote as amplitudes e frequências
 - ▣ Gráfico de **amplitude X frequência**.
- Compare ambas com a previsão teórica, quantitativamente. Comente.

Tarefa 3 - EXTRA

- Meça V_C e V_e também para:
 - $\omega \sim 2 \omega_c$
 - $\omega \ll \omega_c$ (~ 3 vezes)
- Com essas medidas e com a medida de $\omega \gg \omega_c$, mostrar numericamente que $V_C(t)$ pode ser obtido através da aplicação do ganho e da fase para cada frequência que compõe a onda quadrada de entrada
- Compare a sua previsão “teórica” com a medida experimental de $V_C(t)$.
 - Discuta o efeito da escolha do número de termos na série de Fourier no seu resultado

Circuito Integrador

The screenshot displays the DataStudio interface for a circuit simulation. The main window shows a physical model of a circuit board with a 'Voltage Sensor' and a 'Square' wave generator. A 'Scope 1' window shows a square wave signal with a 5 ms/div scale. A 'Signal Generator' window is set to 'Square Wave' with an amplitude of 5.000 V and a frequency of 100.000 Hz. An 'FFT 1' window shows the frequency spectrum of the input signal, with a prominent peak at 100 Hz. A yellow arrow points from the FFT plot to a yellow callout box.

Mude o gerador de sinal para onda quadrada. Se o sistema travar delete os medidores (Scope e FFT) e comece novamente. Observe a FFT.

Sua transformada

Sinal de entrada

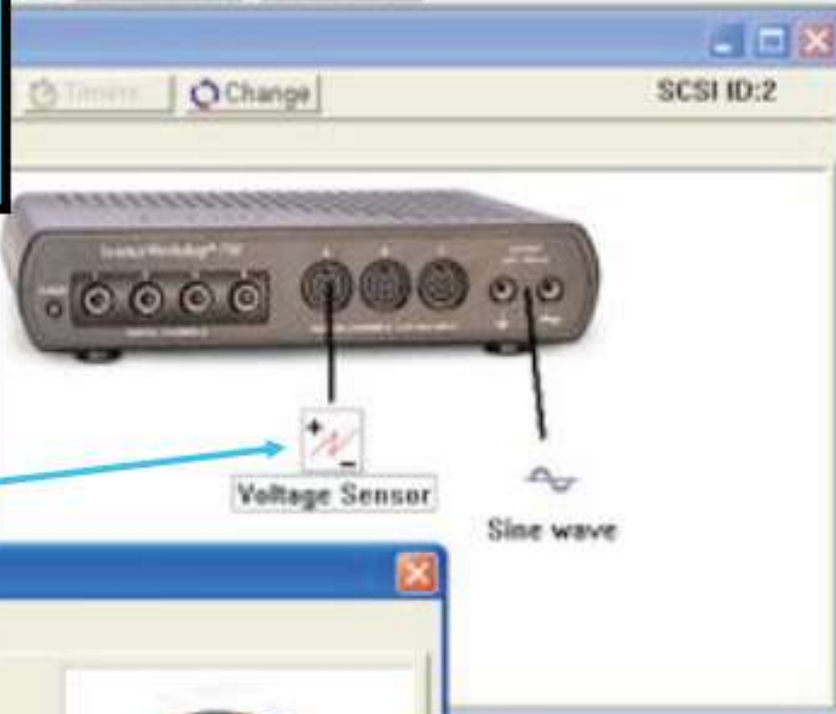
Ligue seu osciloscópio para controlar se a saída do 750 é de fato o que foi selecionado via software.

1) Ligue a interface PASCO 750 na tomada. Veja o LED power on.

2) Conecte um adaptador para pino banana na **entrada A, B ou C**.

3) Conecte um par de fios com pino banana na saída *output*.

Arraste um *Voltage Sensor* até a entrada A. Defina suas propriedades (eventualmente com um duplo click)



Sensor Properties

General | Measurement

Voltage Sensor

Model: D-6503

Sensitivity: **Low (1x)**

Sample Rate: 10000 Hz

Default Range Fast (> 1 Hz) Slow (< 1 Hz)

OK Cancel Help

Signal Generator

Sine Wave

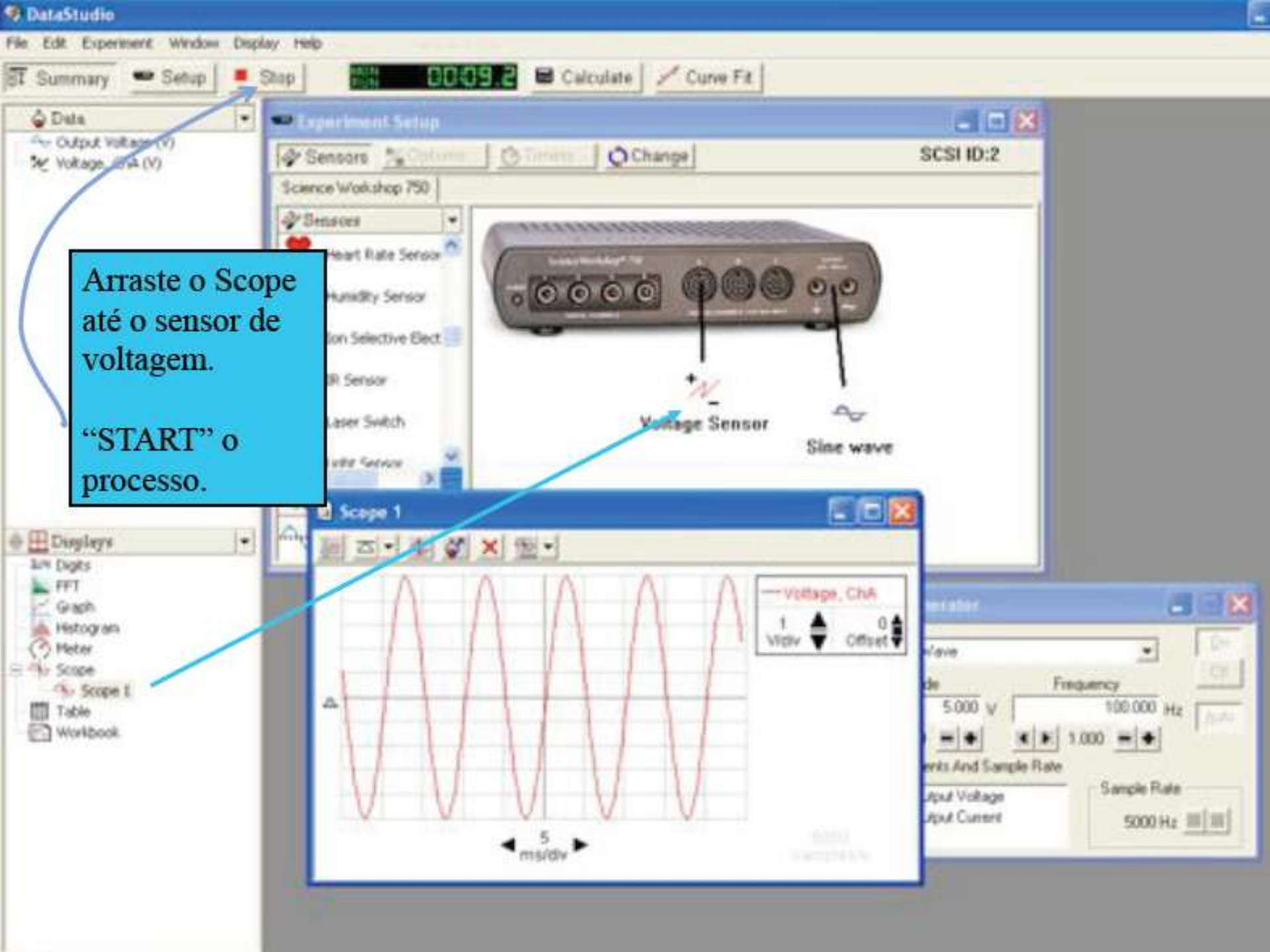
Amplitude: 5.000 V Frequency: 100.000 Hz

Measurements And Sample Rate

Measure Output Voltage Measure Output Current

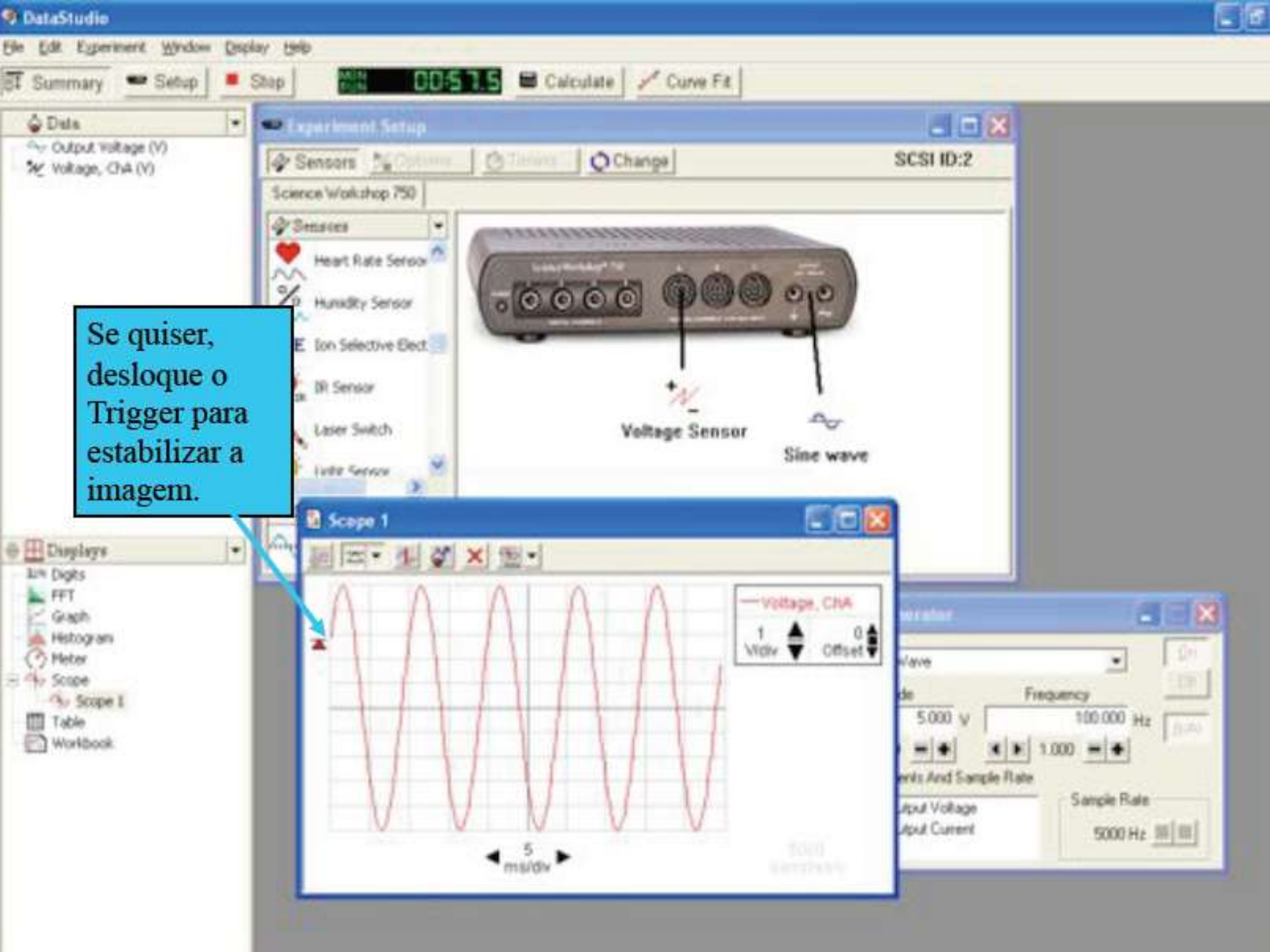
Sample Rate: 10000 Hz

- Displays
- Digits
- FFT
- Graph
- Histogram
- Meter
- Scope
- Table
- Workbook

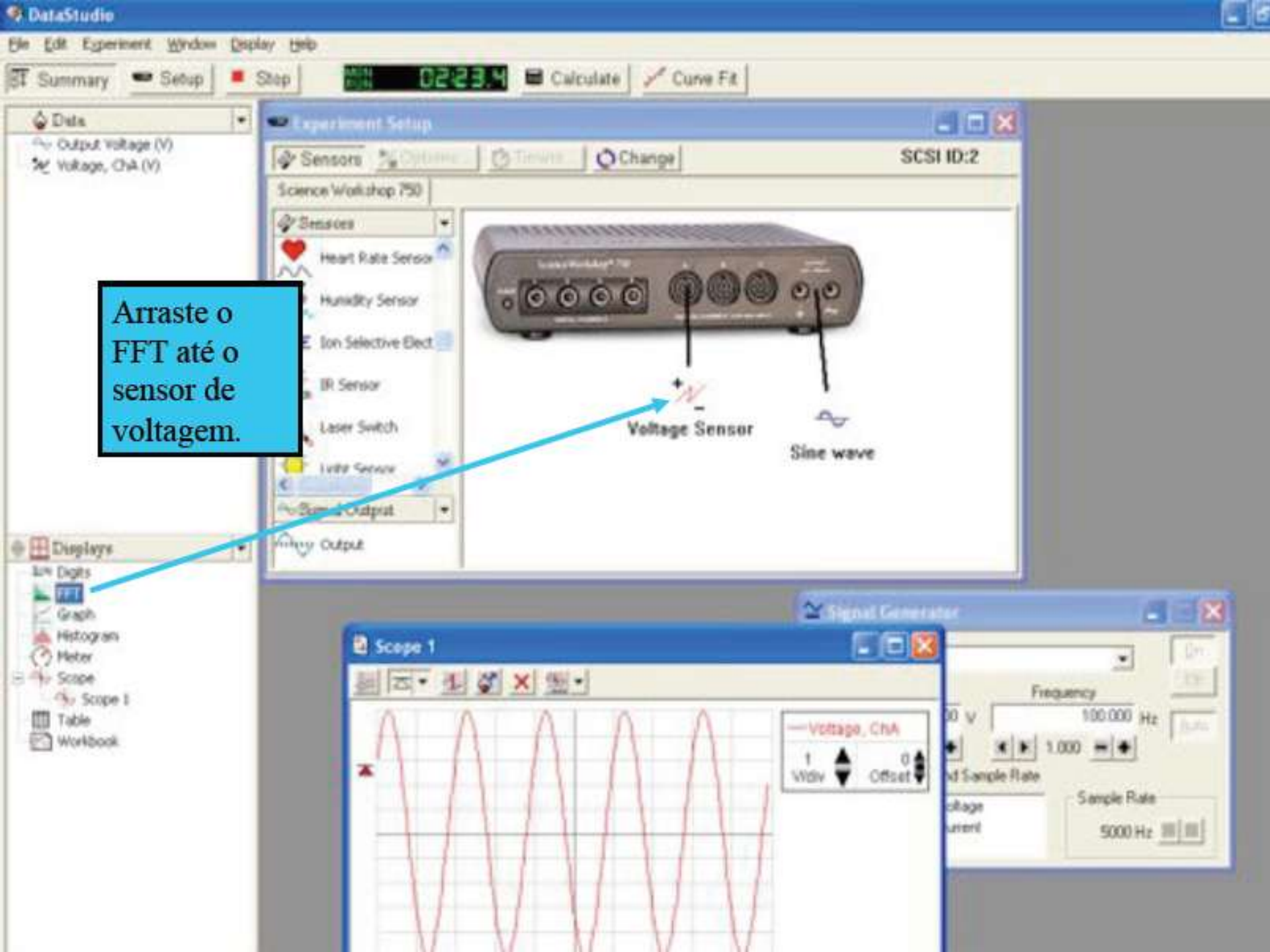


Arraste o Scope até o sensor de voltagem.

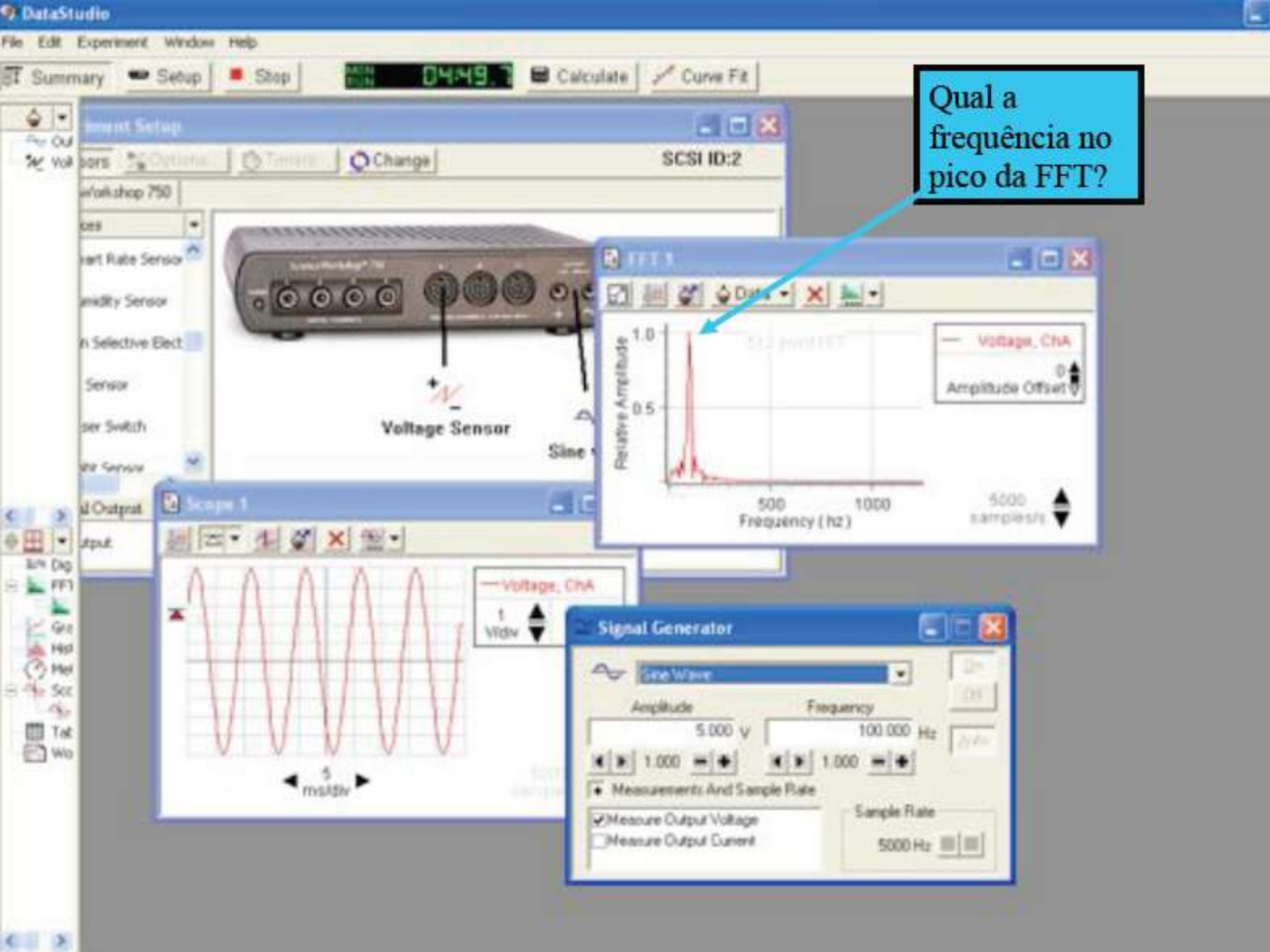
“START” o processo.



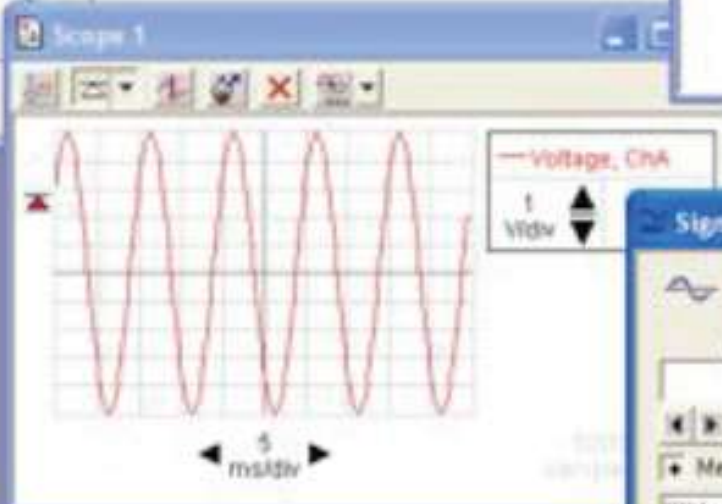
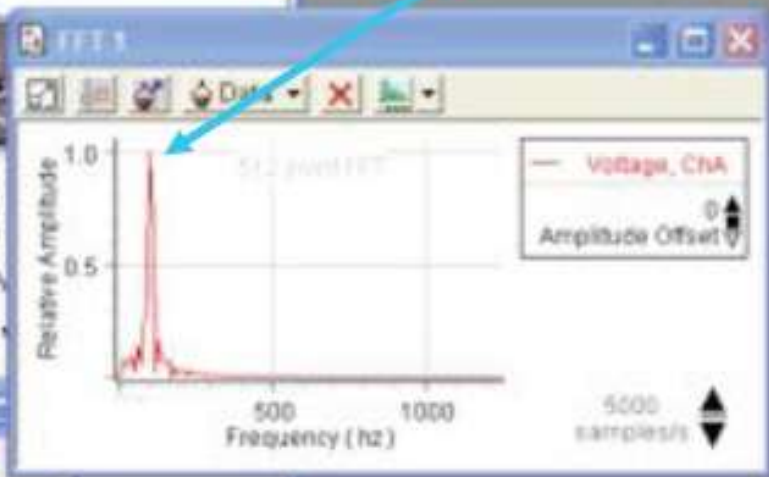
Se quiser,
desloque o
Trigger para
estabilizar a
imagem.



Arraste o FFT até o sensor de voltagem.



Qual a frequência no pico da FFT?



Signal Generator

Waveform: Sine Wave

Amplitude: 5.000 V

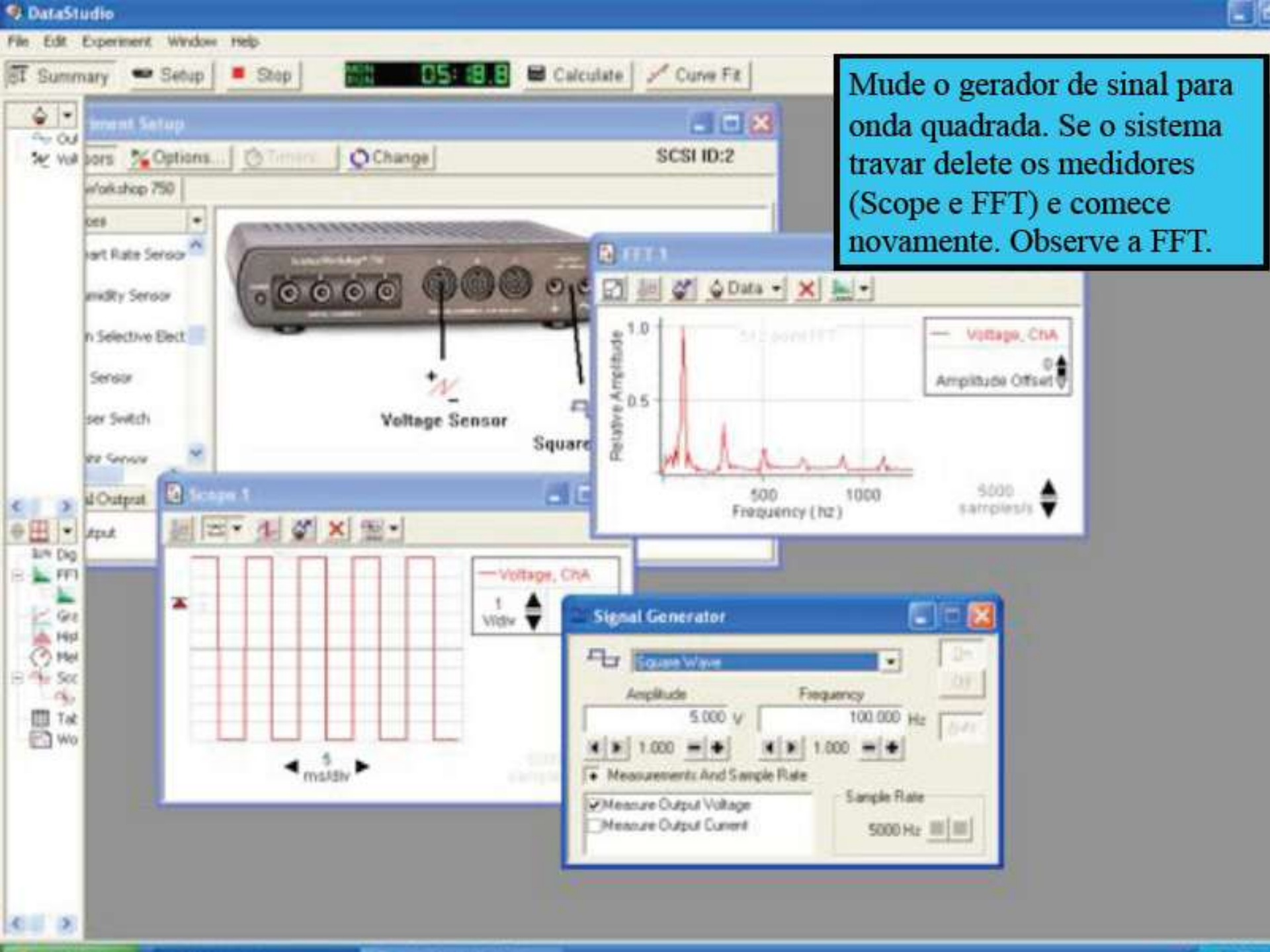
Frequency: 100.000 Hz

Measurements And Sample Rate

Measure Output Voltage

Measure Output Current

Sample Rate: 5000 Hz



Mude o gerador de sinal para onda quadrada. Se o sistema travar delete os medidores (Scope e FFT) e comece novamente. Observe a FFT.

