

---

# Experiência I

## Circuitos CA e Caos

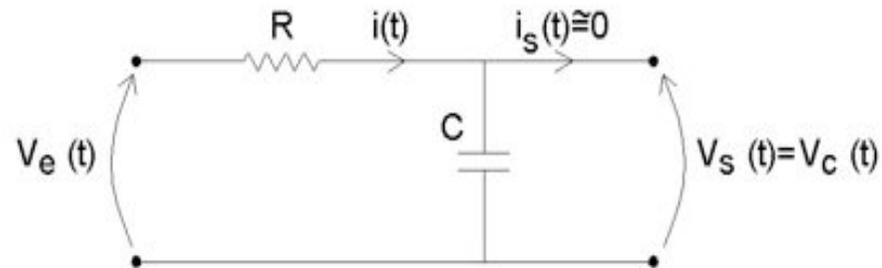
### Aula 02

Prof. Alexandre Suaide  
Ed. Oscar Sala, 246. ramal 7072

## AULA ANTERIOR: GANHO DE UM FILTRO RC

---

$$\hat{G} = \frac{\hat{V}_s}{\hat{V}_e} = G_0 e^{j\phi_G}$$



○ Sendo:

$$\omega_c = \frac{1}{RC}$$

$$G_0 = \frac{V_s^0}{V_e^0} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^2}}$$

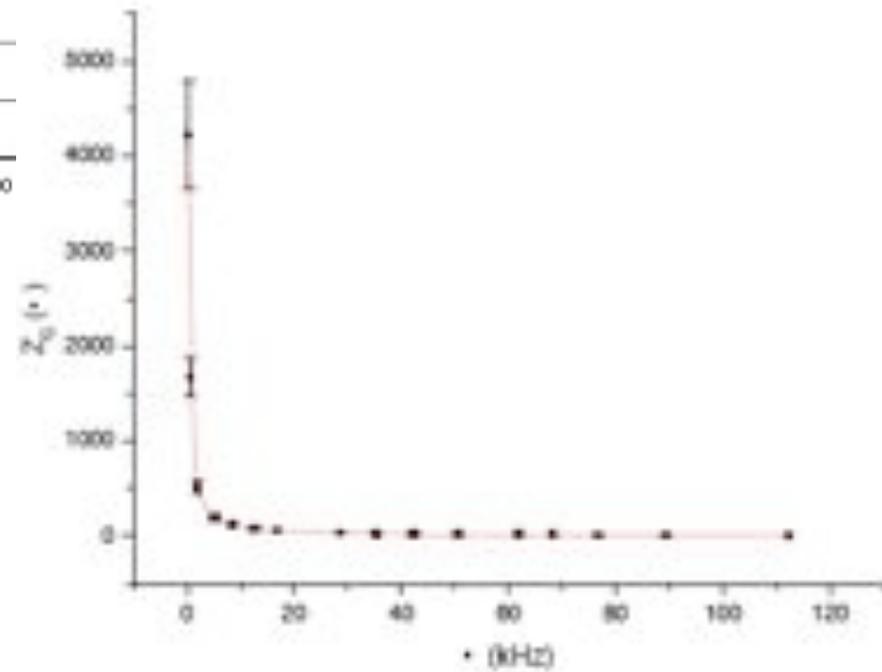
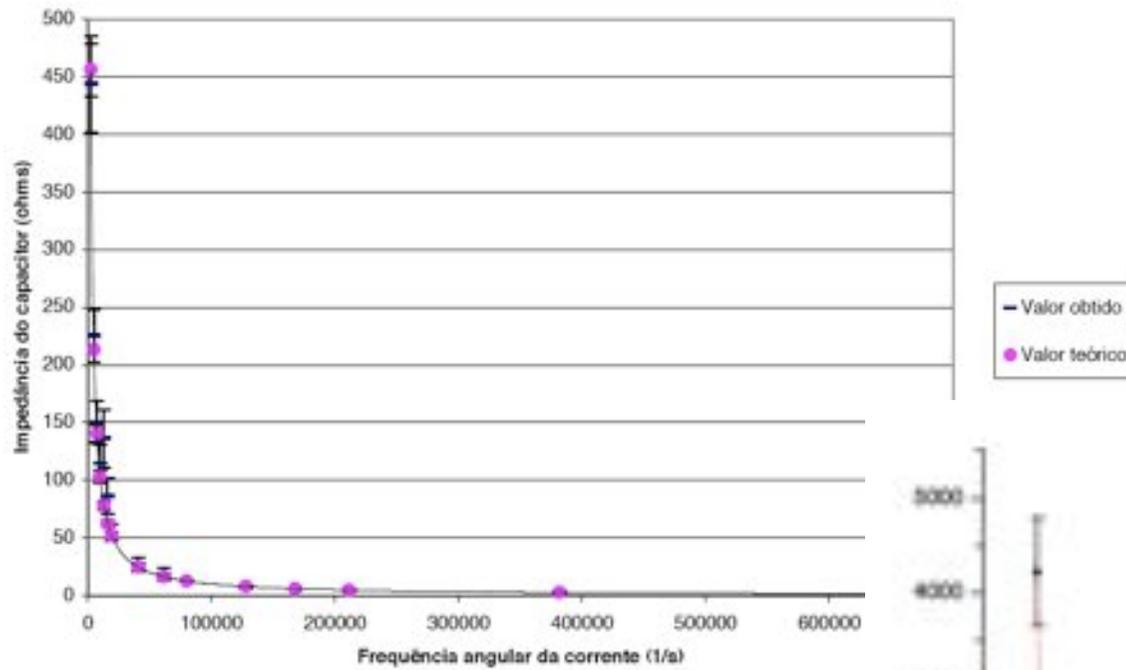
$$\phi_G = \omega \cdot \Delta T_{s-e} = \arctan\left(-\frac{\omega}{\omega_c}\right)$$

## PRIMEIRA PARTE: DETERMINAR $\omega_C$ NOMINAL

---

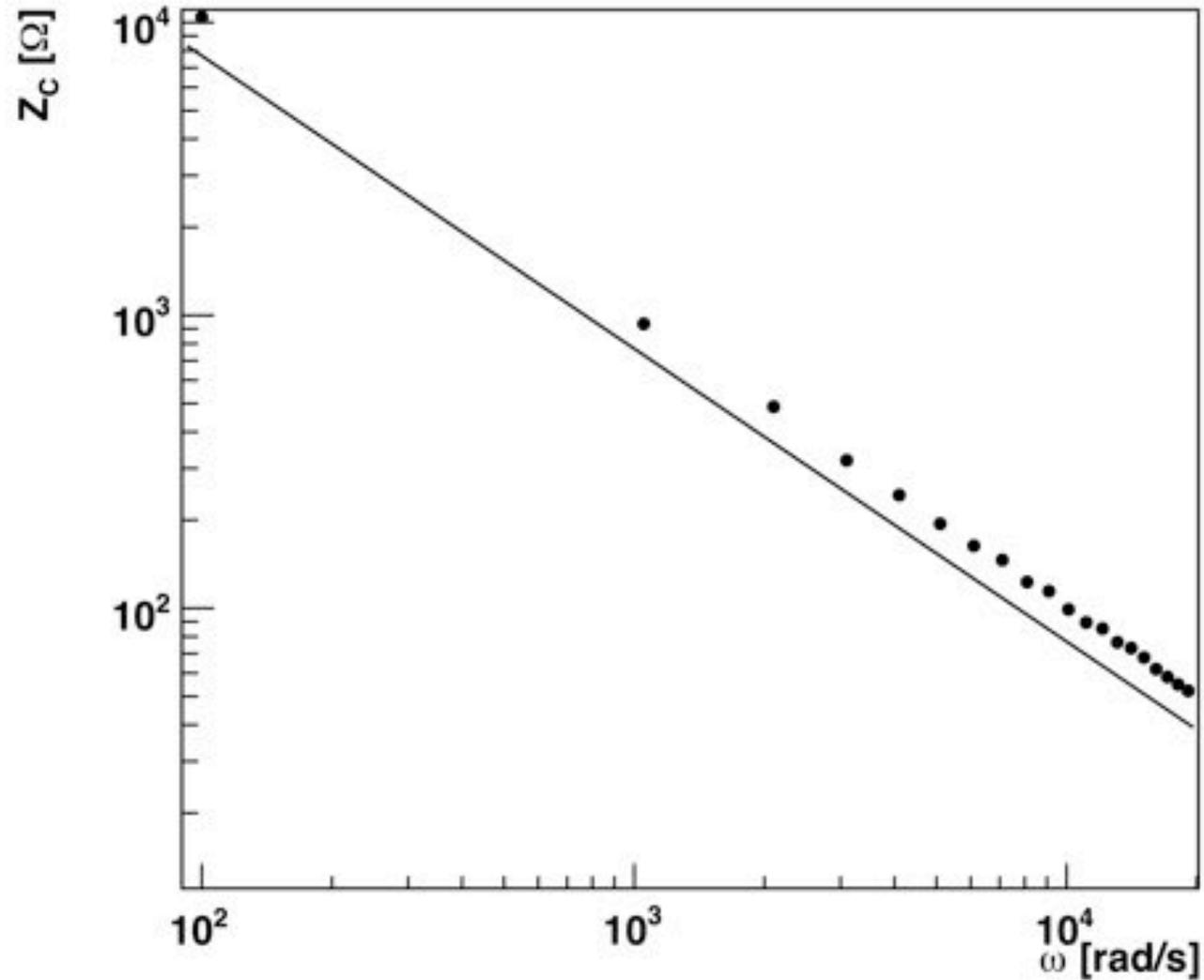
- R posso medir com um multímetro. E C?
  - C também posso medir com um multímetro, mas o capacitor é ideal? Eu posso, só com o multímetro saber isto?
- O que eu faço?
  - Meço  $Z_C$  em função de  $\omega$  e comparo com ideal, ou seja
    - $Z_C = 1/\omega C$
  - Meço a fase em função de  $\omega$  e comparo com ideal, ou seja
    - $\phi_C = \pi/2$
  - Obtenho C do ajuste da curva acima.

# ALGUNS RESULTADOS

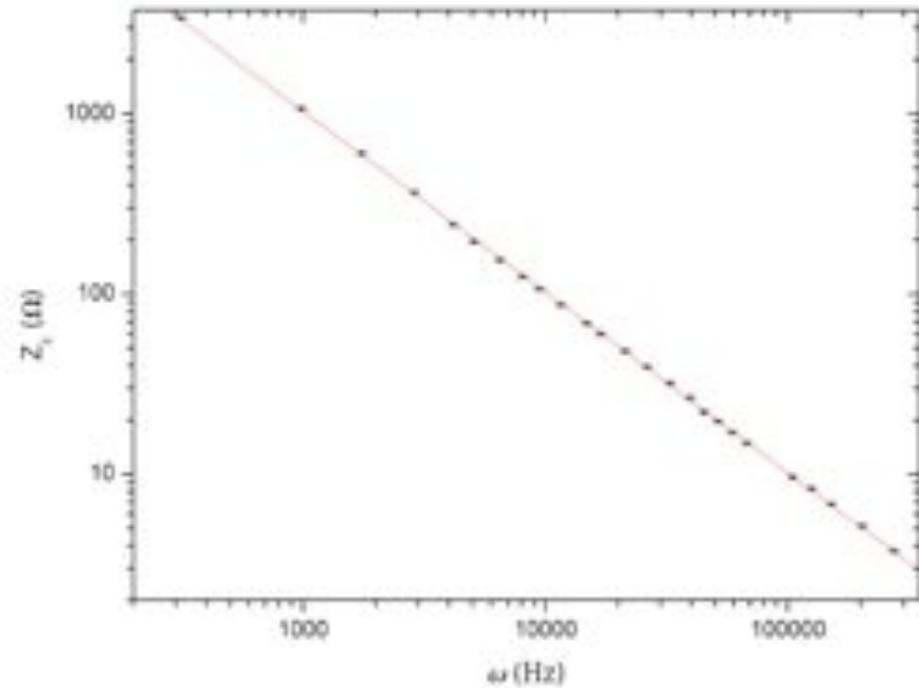
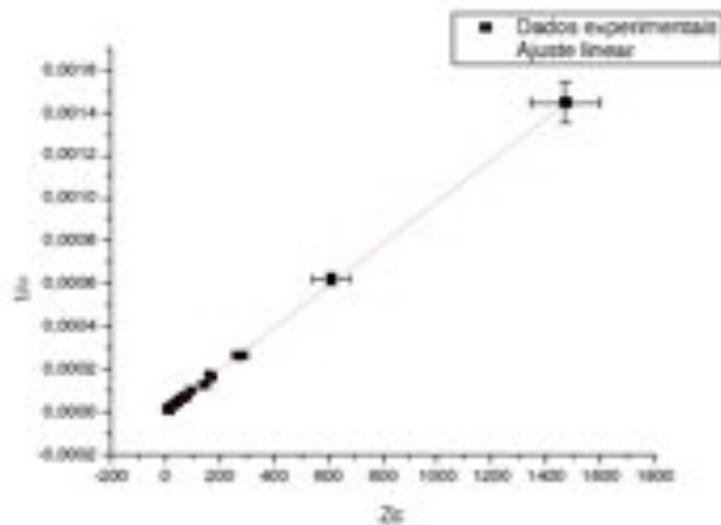
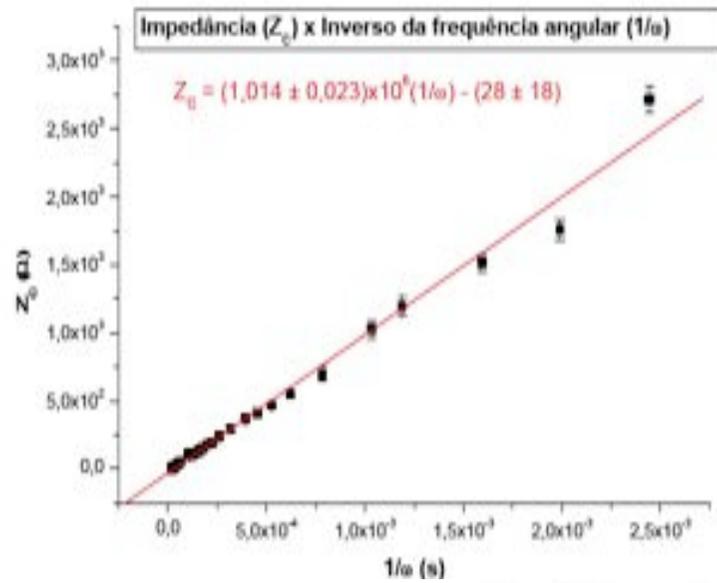


# ESCALA DE UM GRÁFICO

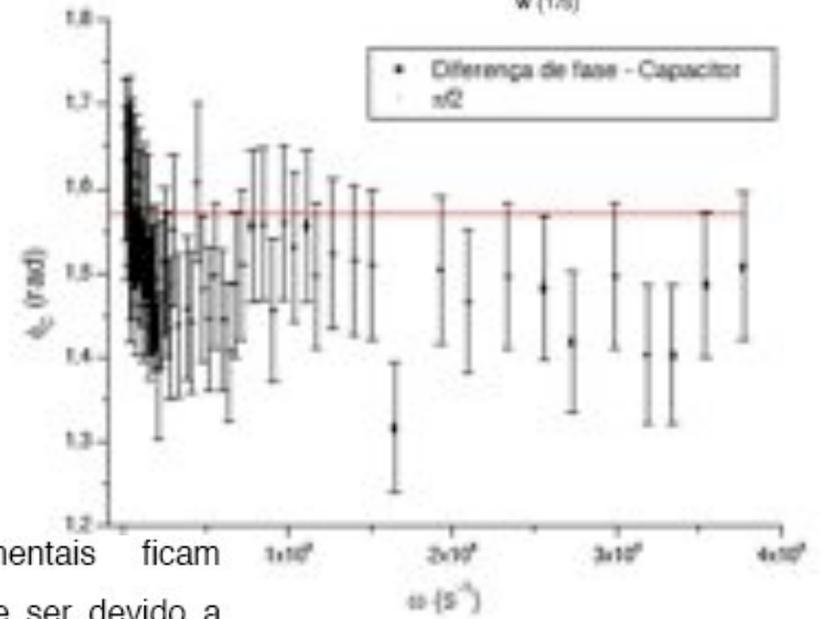
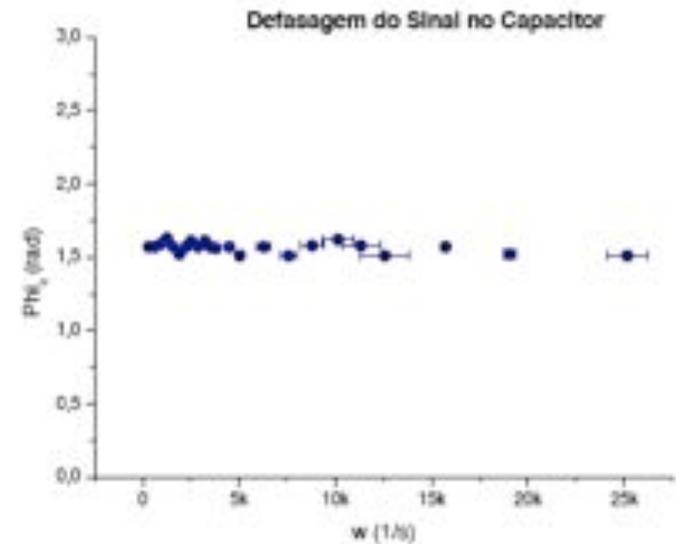
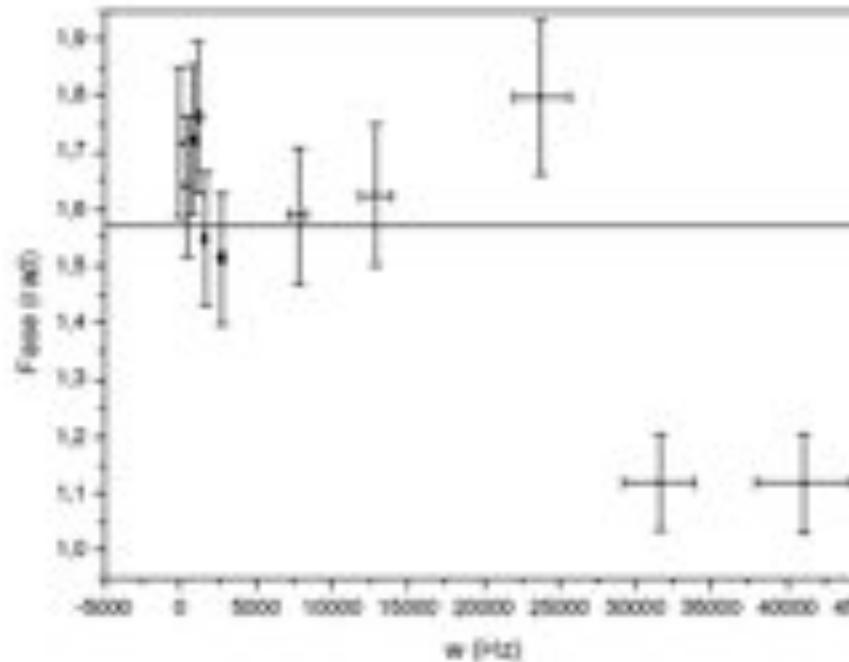
Impedancia de um capacitor em funcao da frecuencia



# ALGUNS RESULTADOS



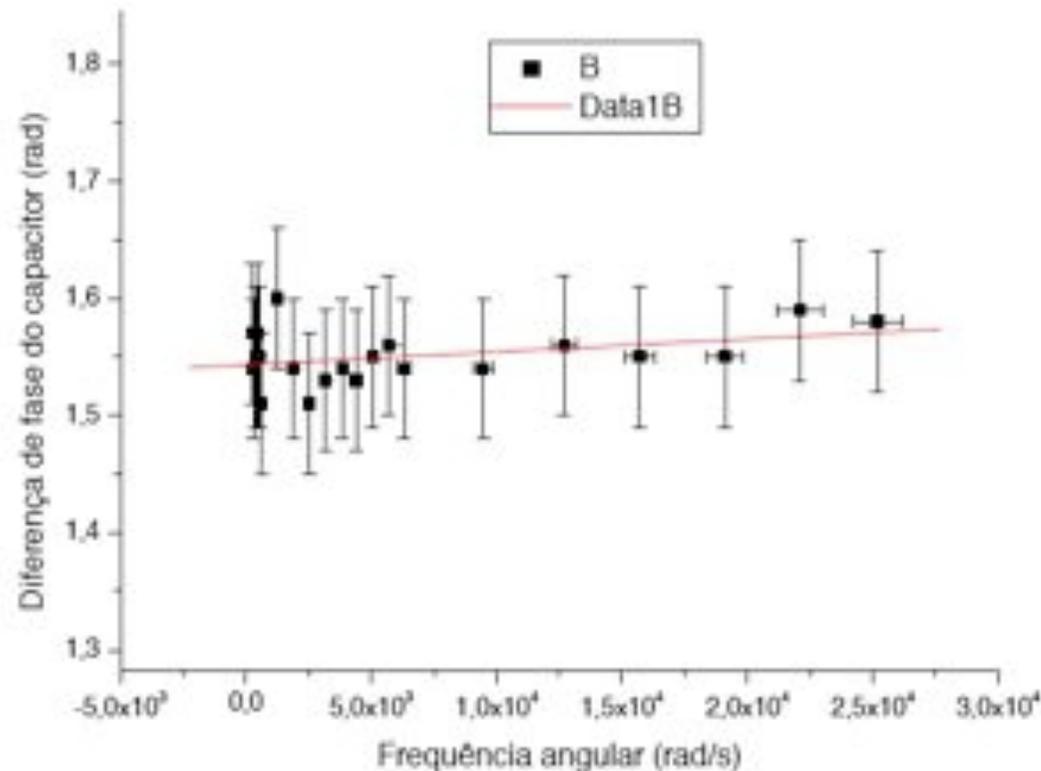
# É A FASE DO CAPACITOR ( $\phi_C$ )?



Qual é o melhor método para testar se a fase é constante e igual à  $\pi/2$ ?

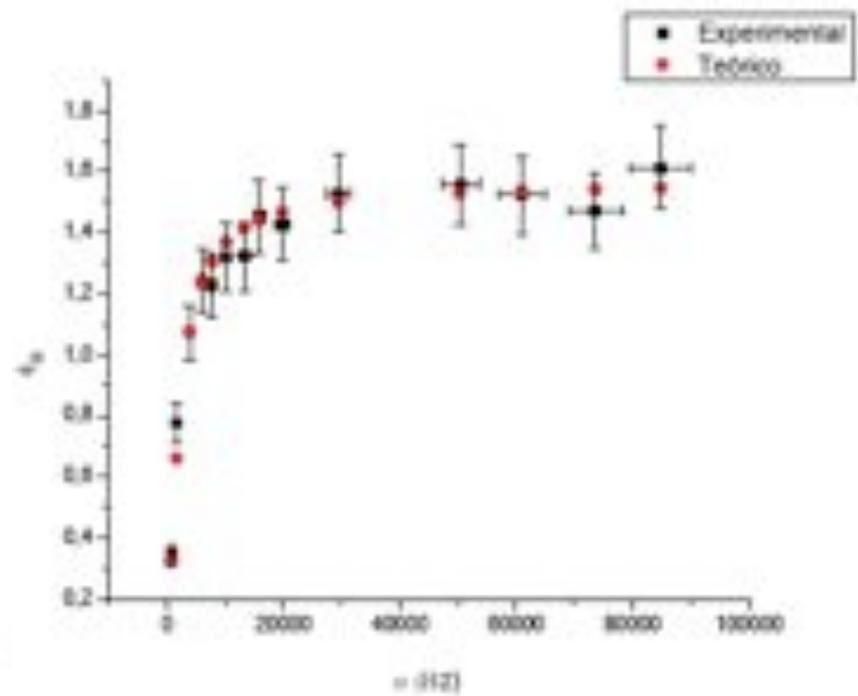
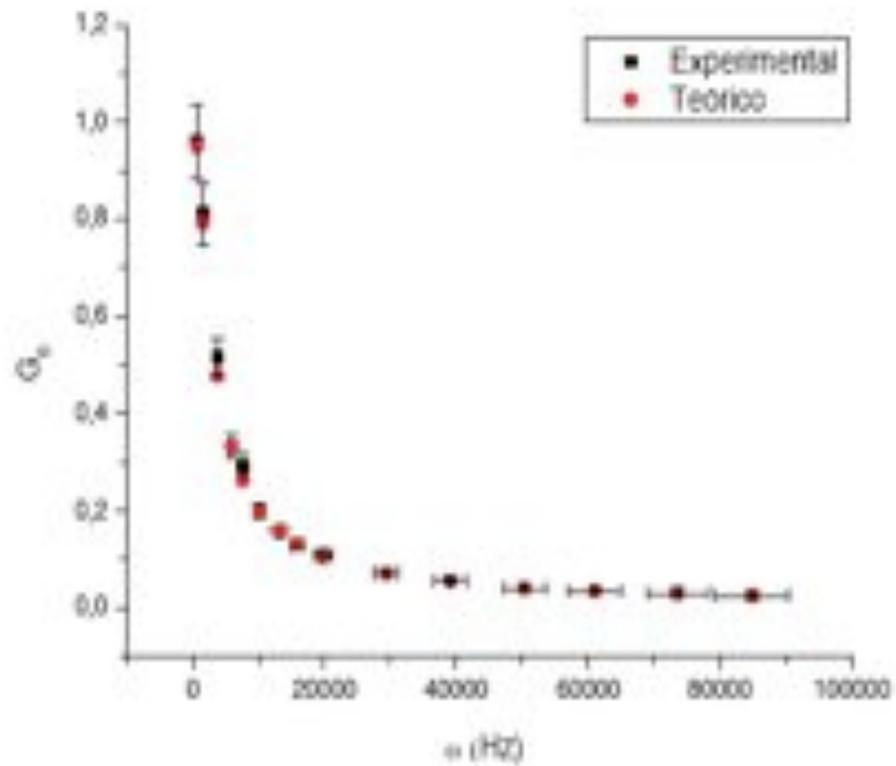
Note-se entretanto que os valores experimentais ficam sistematicamente abaixo do valor esperado de  $\pi/2$ . Isto pode ser devido a efeitos não lineares do circuito, uma vez que nenhum sistema é ideal.

## É A FASE DO CAPACITOR ( $\phi_C$ )?



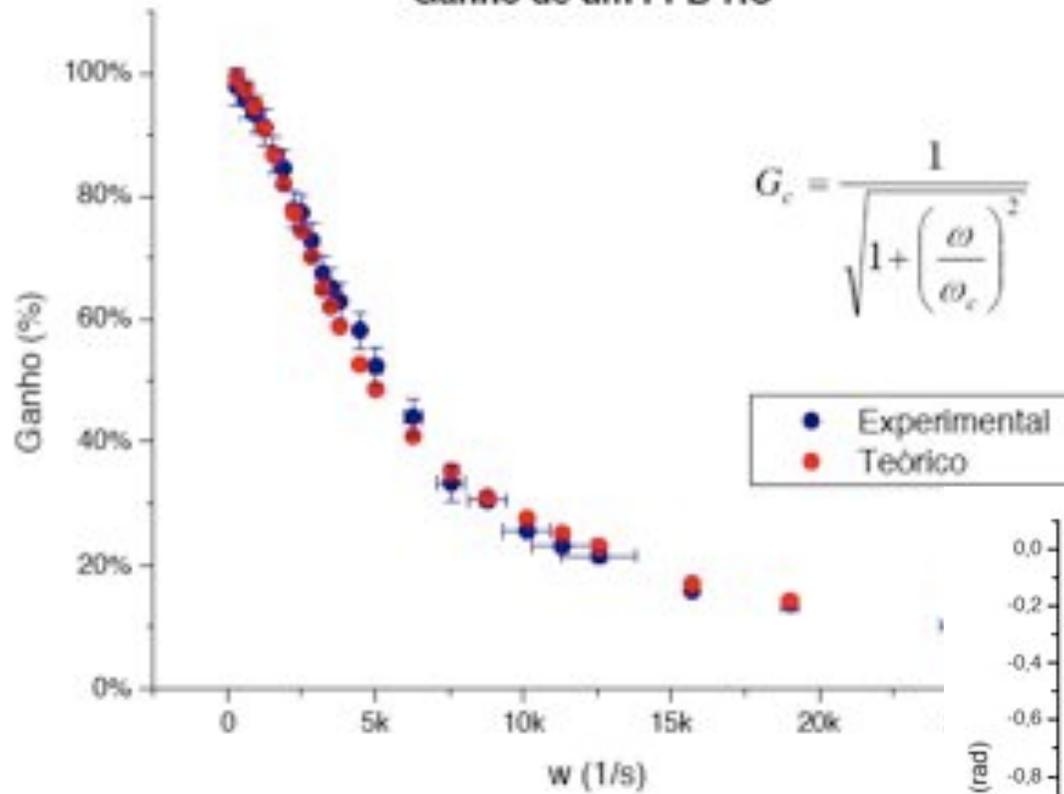
Descrição: Temos acima o gráfico que mostra a diferença de fase do capacitor pela frequência angular  $\omega$ . Ajustamos uma reta do tipo  $y = Ax + B$  cujos coeficientes A e B são respectivamente  $1,1 \cdot 10^{-6}$  ( $6,1 \cdot 10^{-7}$ ) e 1,54 (0,006) o que mostra que os valores formam uma reta constante, pois o valor de A é compatível com a origem.

# GANHO E FASE DO CIRCUITO

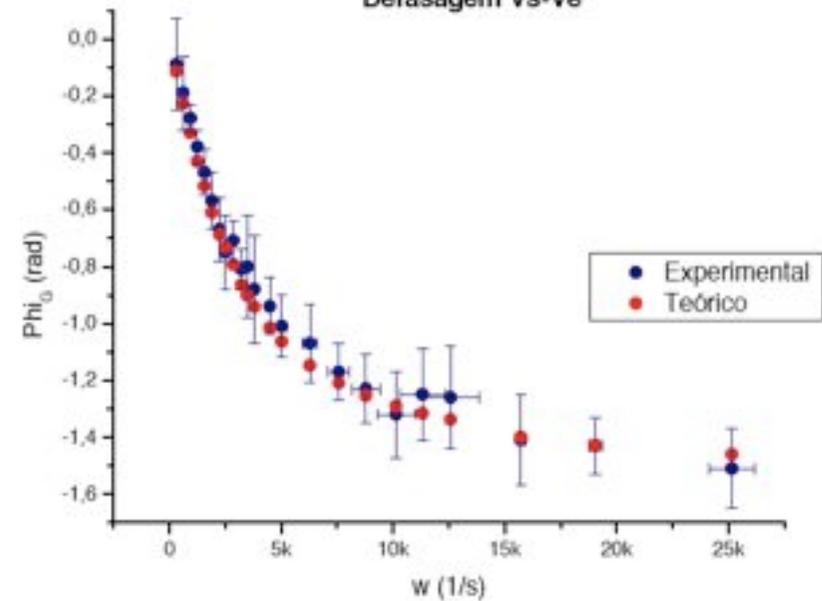


# GANHO E FASE DO CIRCUITO

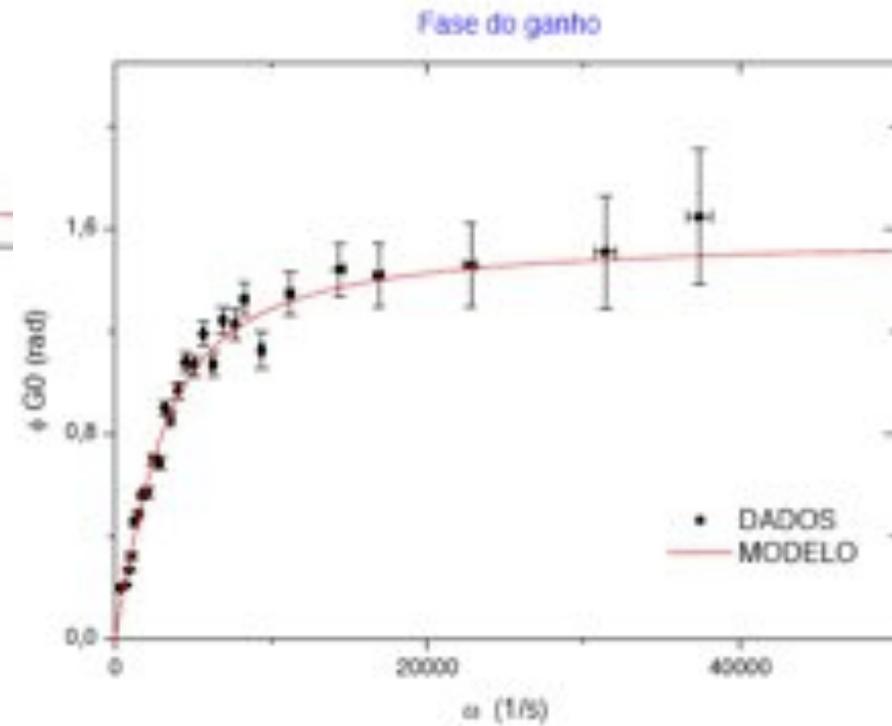
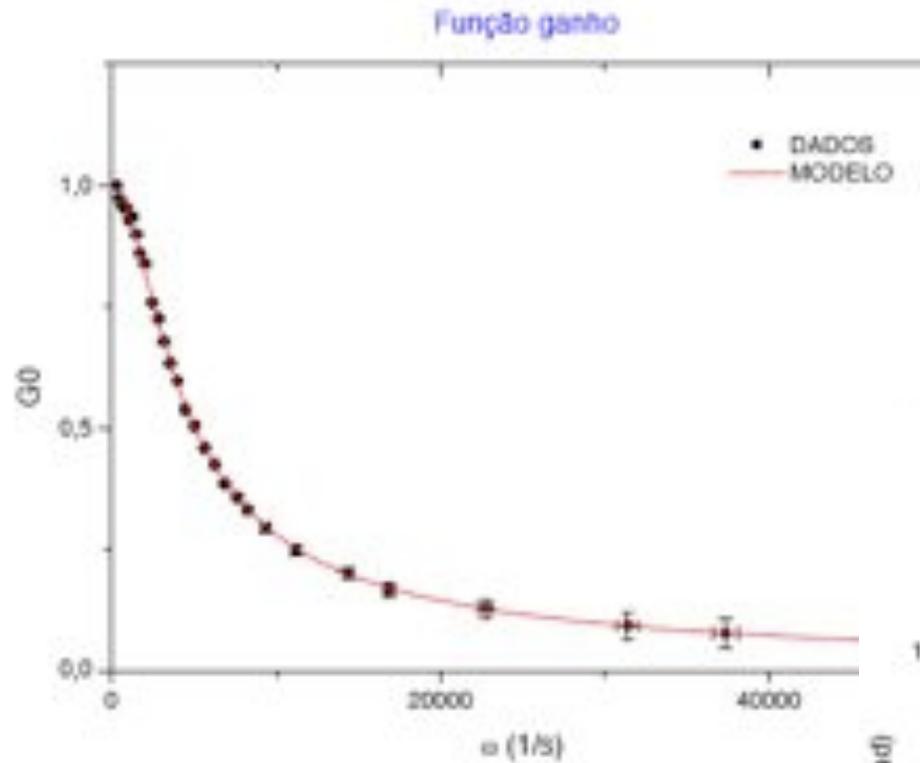
Ganho de um FPB-RC



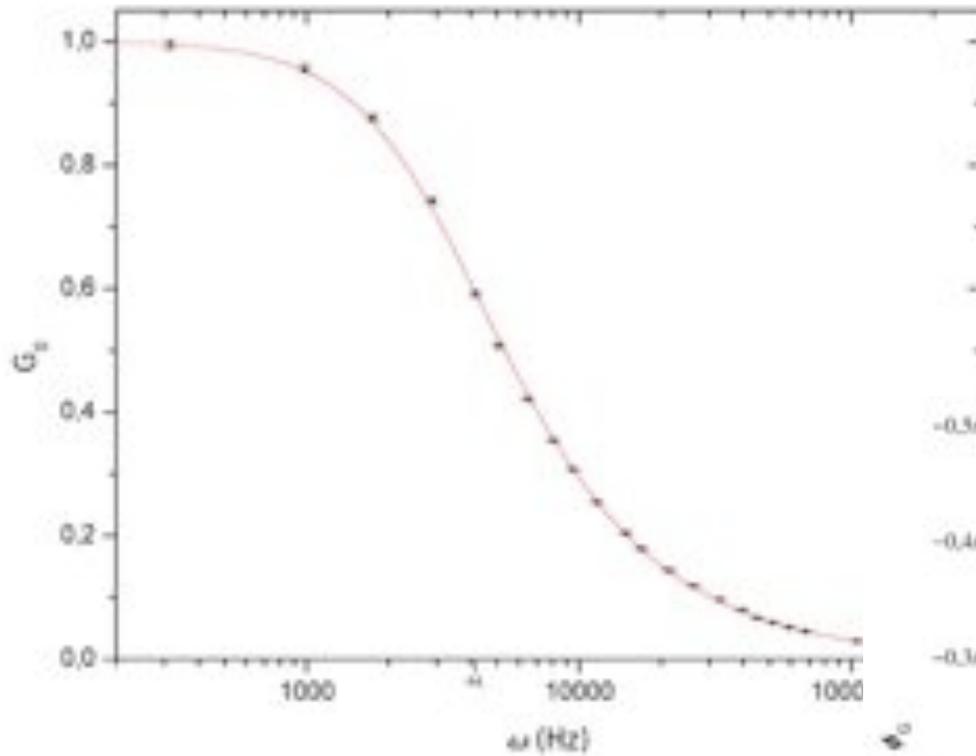
Defasagem Vs-Ve



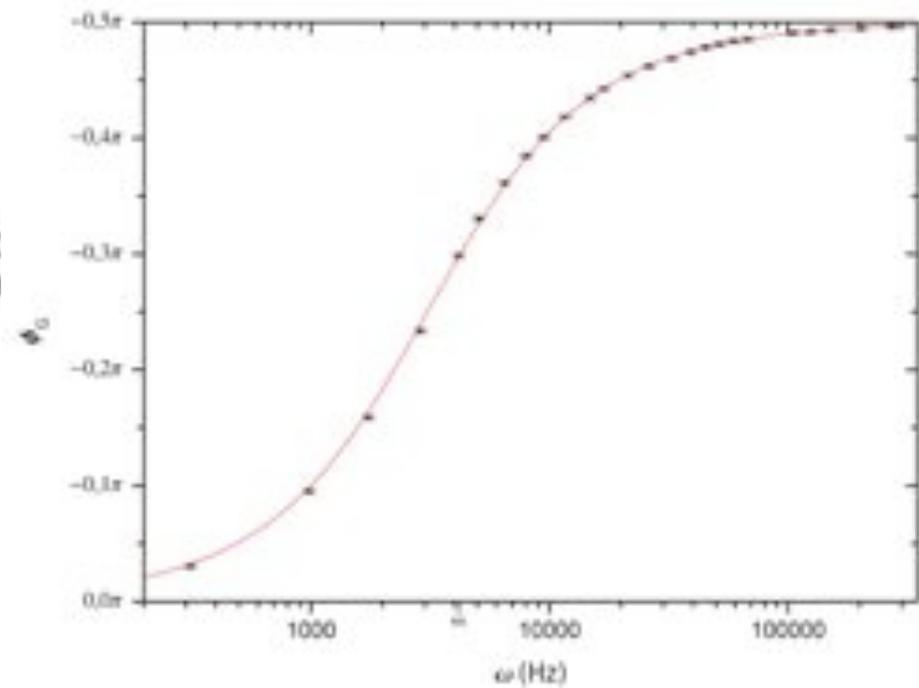
# GANHO E FASE DO CIRCUITO



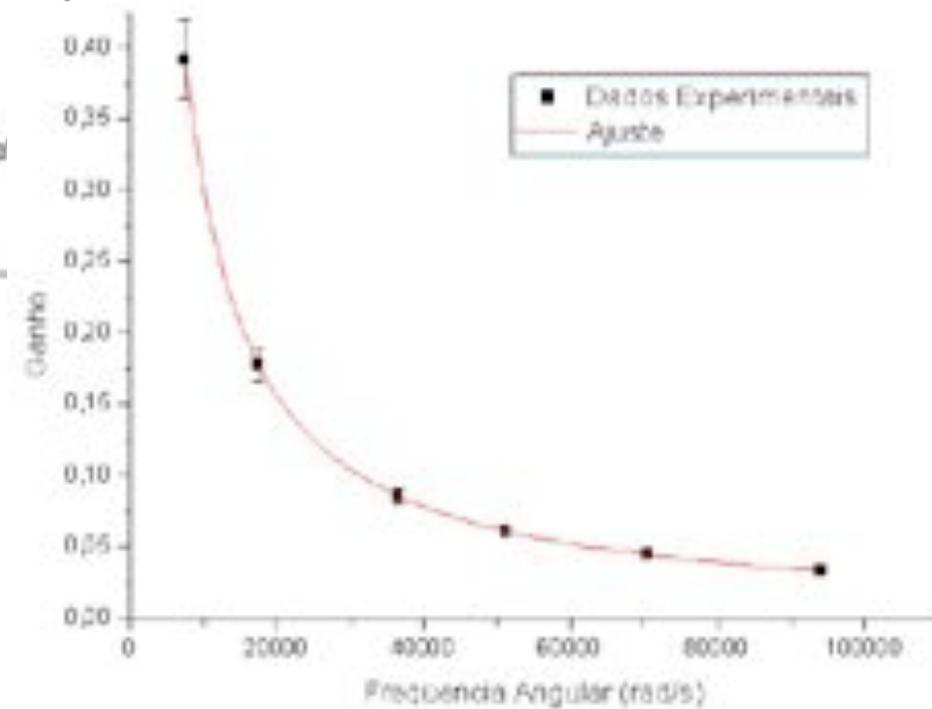
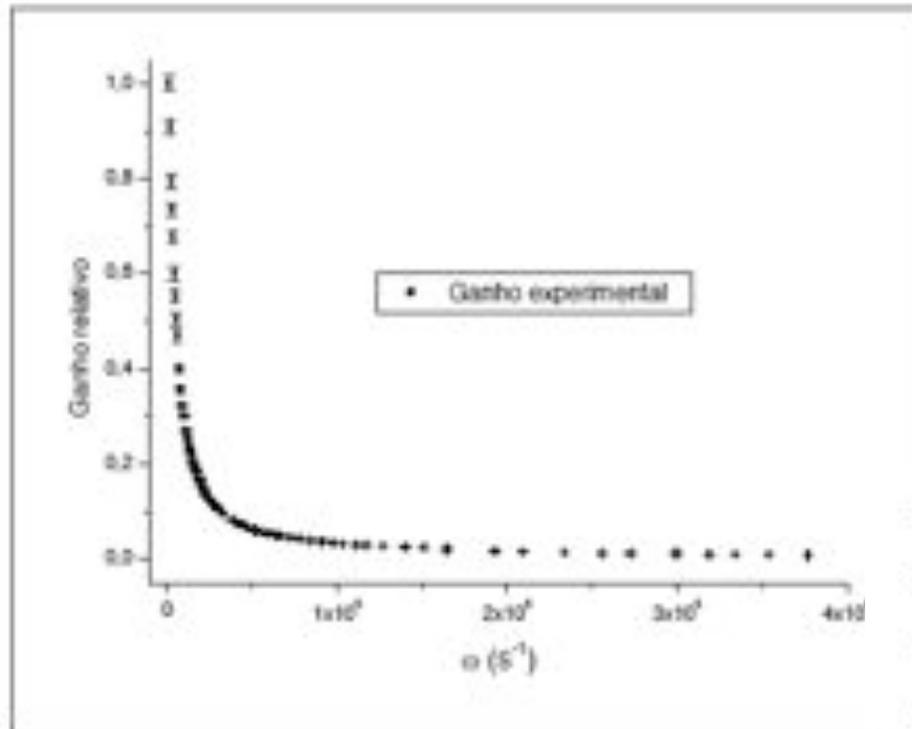
# GANHO E FASE DO CIRCUITO



Bom uso de escala em gráfico.

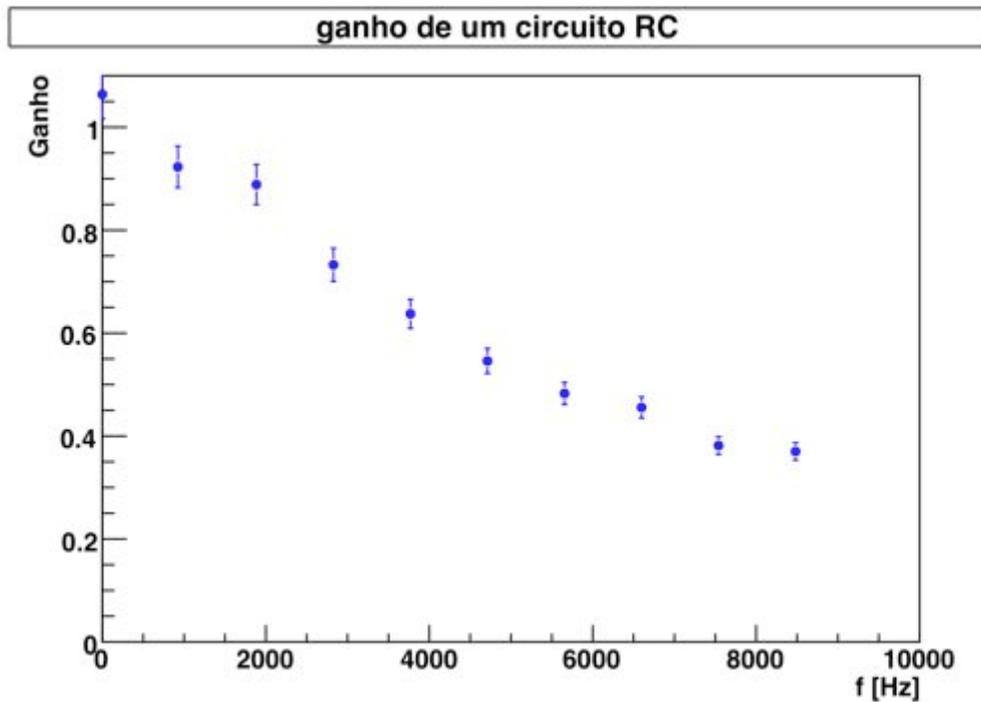


# PRECISÃO DO RESULTADO. COMO RESPONDER?



# O QUE PRETENDÍAMOS FAZER?

- Obter o ganho experimental e comparar com previsão teórica.
- O que isto significa?



$$G_0 = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_C}\right)^2}}$$

# O QUE PRETENDÍAMOS FAZER?

---

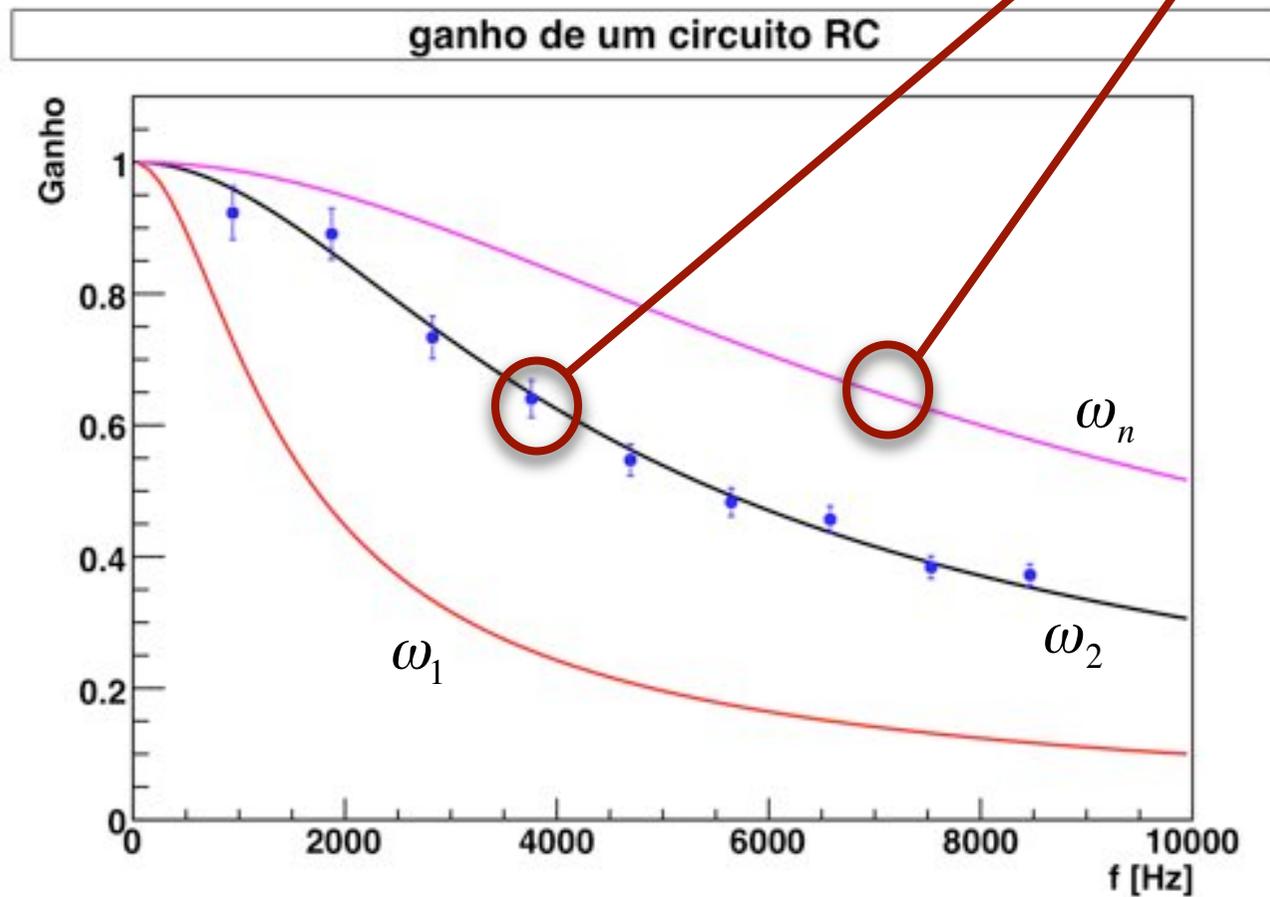
- Como eu checo esta igualdade?
  - Ajusto os dados à função desejada e comparo  $\omega_c$  obtido com o esperado teoricamente

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

- Para a comparação possuir qualidade,  $\omega_c$  experimental deve ser o mais preciso possível.
  - Como assegurar isto?
    - Tomada de dados → Escolher como fazer a tomada de dados
    - A grande dúvida → Quantos pontos medir? em que região medir? Porque?

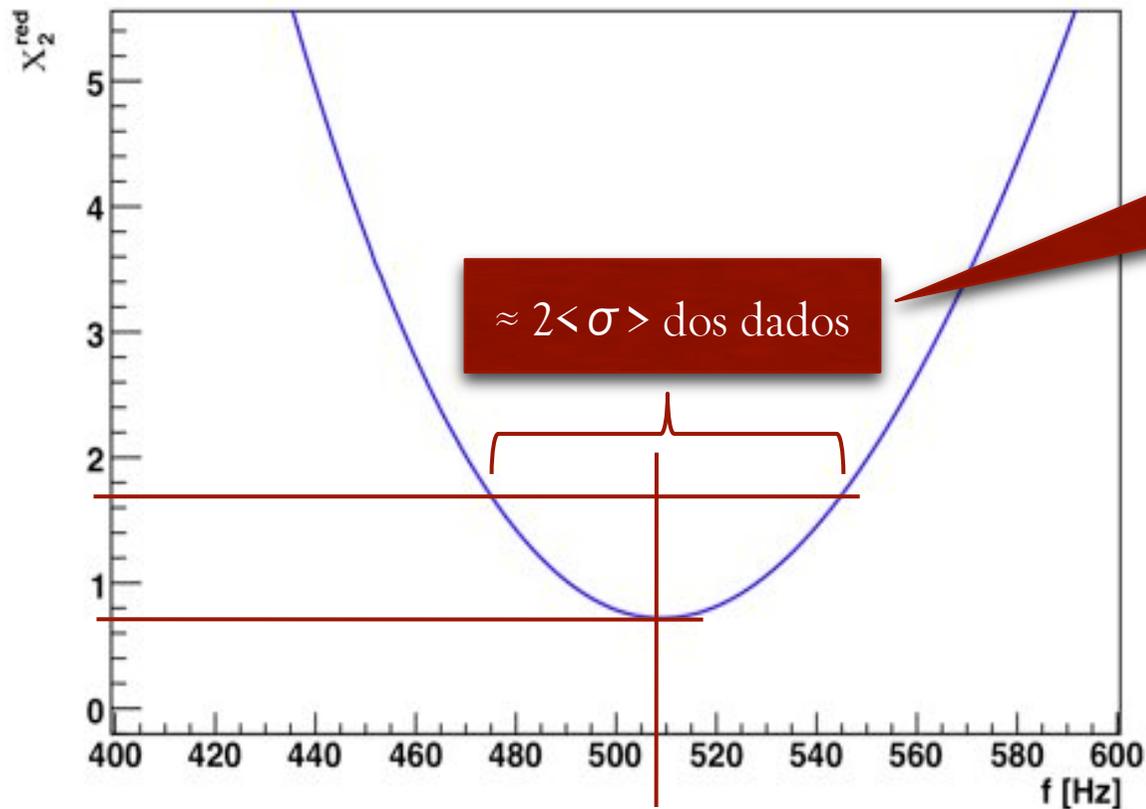
# FAZENDO UM AJUSTE DE DADOS

- Método de mínimos quadrados: 
$$X_{red}^2 = \frac{1}{N - n} \sum_{i=1}^N \left( \frac{y_i - f(x_i)}{\sigma_i} \right)^2$$



# FAZENDO UM AJUSTE DE DADOS

- Método de mínimos quadrados: 
$$X_{red}^2 = \frac{1}{N - n} \sum_{i=1}^N \left( \frac{y_i - f(x_i)}{\sigma_i} \right)^2$$

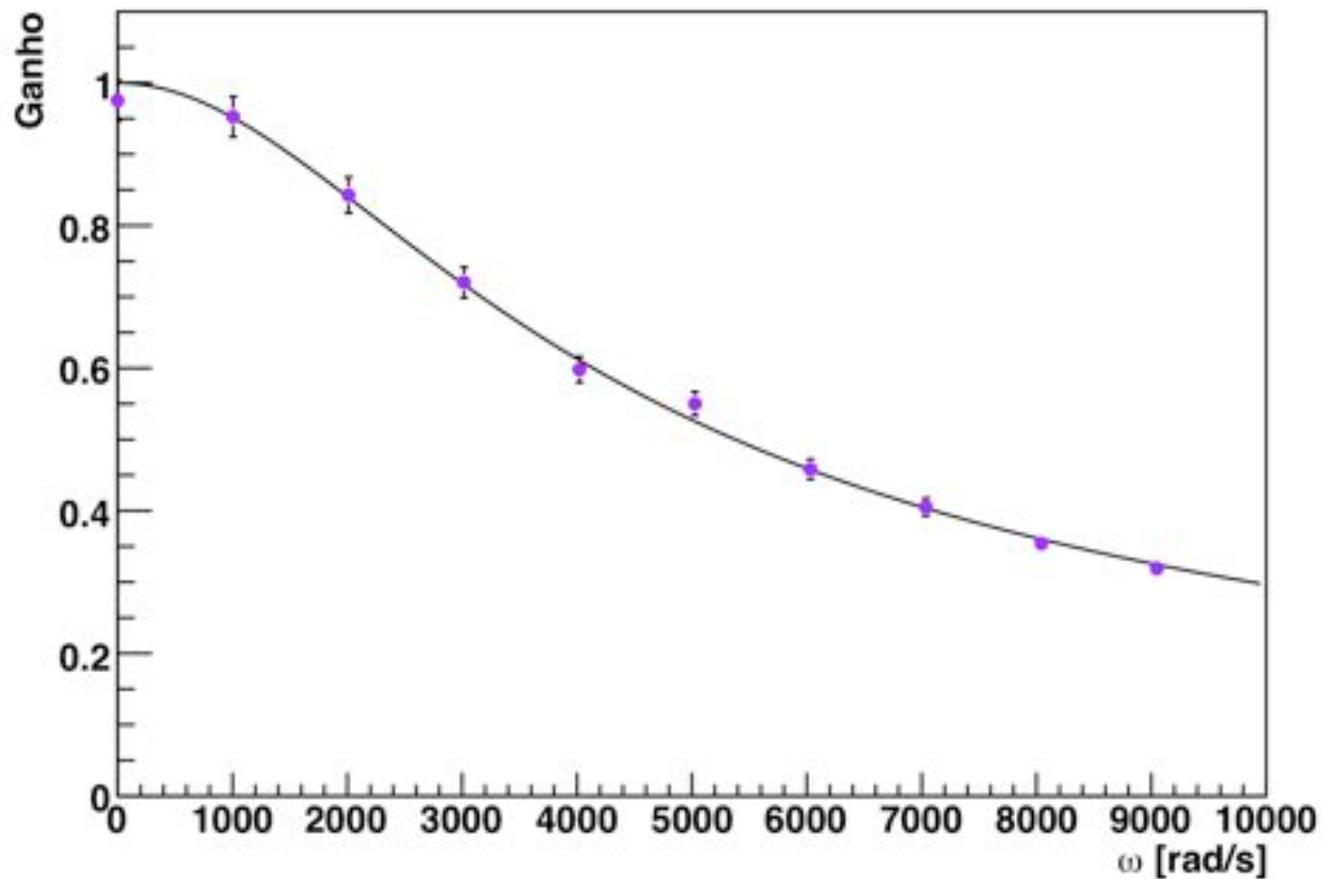


A incerteza do parâmetro ajustado é, aproximadamente,  $\sigma / \sqrt{N}$

$$f = 508 \pm 11 \text{ Hz}$$

## QUE REGIÃO MEDIR?

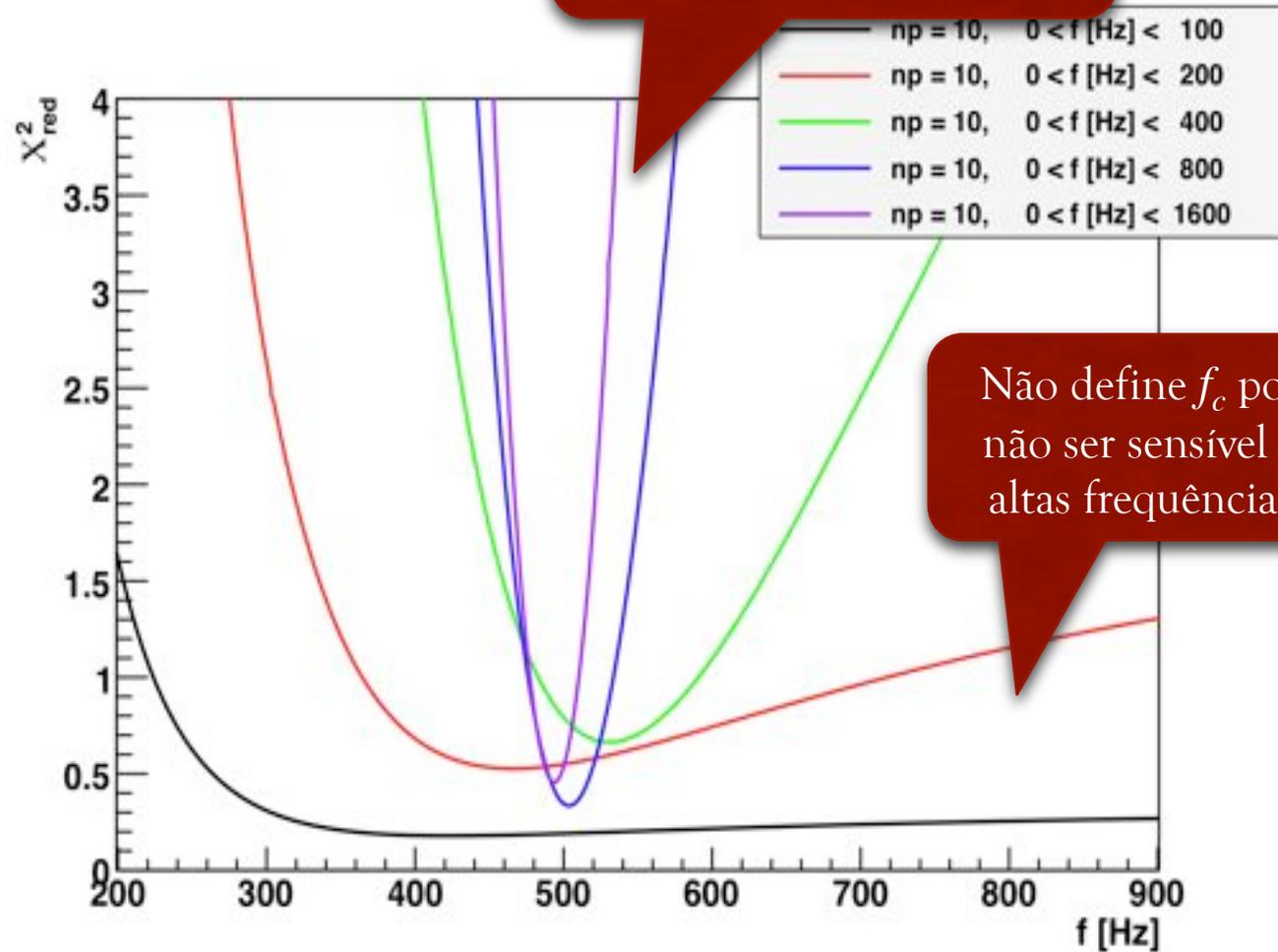
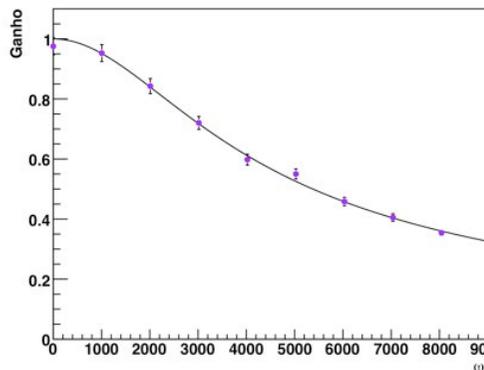
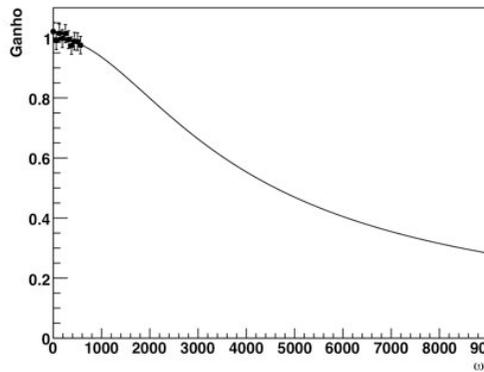
- Mesmo filtro, regiões diferentes de tomadas de dados



# QUE REGIÃO MEDIR?

- Mesmo filtro, regiões diferentes de

Boa definição de  $f_c$  Note que  $\chi^2_{red}$  é  $\approx$  simétrico



Não define  $f_c$  por não ser sensível a altas frequências

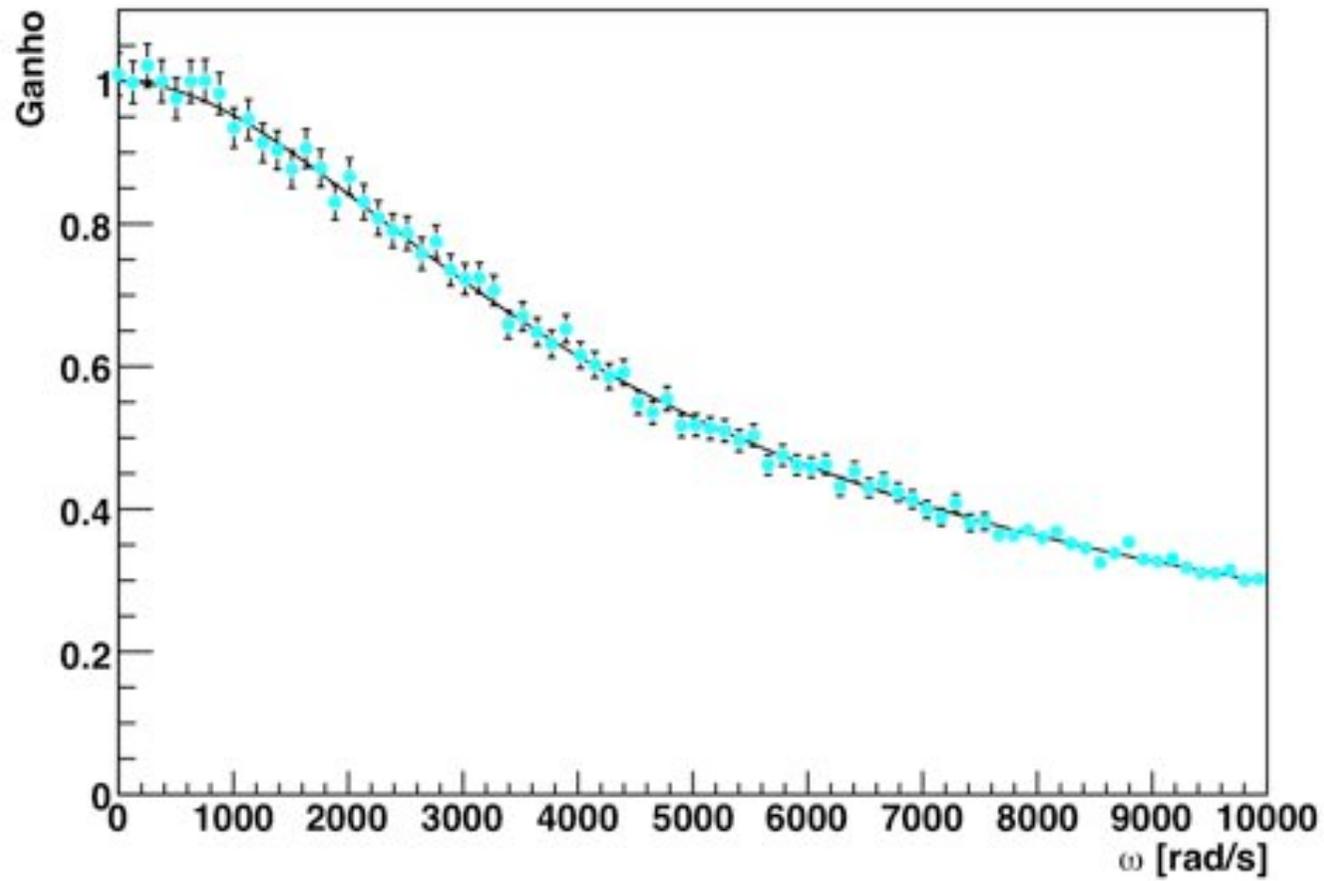
## QUANTOS PONTOS MEDIR?

---

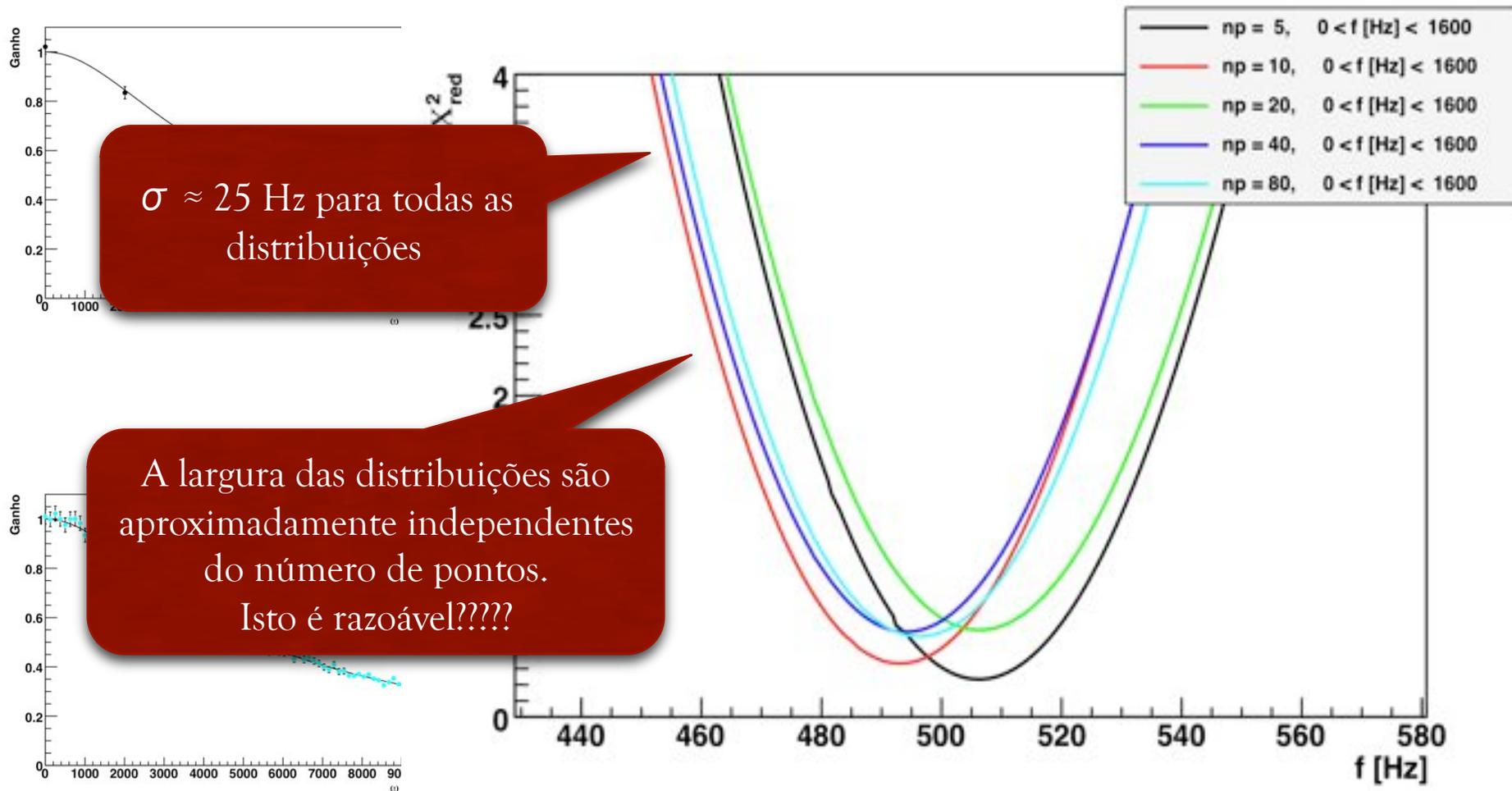
- Qual é a frequência de corte esperada
  - $R = 330 \pm 3 \Omega$
  - $C = 1.00 \pm 0.02 \mu\text{F}$
$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = 482 \pm 10 \text{ Hz}$$
- Precisamos determinar a frequência de corte experimental com precisão comparável ou menor que o esperado dos valores nominais do circuito para que a comparação seja razoável.

# QUANTOS PONTOS MEDIR?

---



# QUANTOS PONTOS MEDIR?



## QUANTOS PONTOS MEDIR?

---

- Qual é a frequência de corte esperada
  - $R = 330 \pm 3 \Omega$
  - $C = 1.00 \pm 0.02 \mu\text{F}$
- $f_c = \frac{1}{2\pi RC} = 482 \pm 10 \text{ Hz}$
- Precisamos determinar a frequência de corte experimental com precisão comparável ou menor que o esperado dos valores nominais do circuito para que a comparação seja razoável.
- Se a largura é aproximadamente 25 Hz e eu quero obter uma incerteza da ordem de 10 Hz para comparação preciso de um número de pontos tal que

$$10 \approx \frac{25}{\sqrt{N}} \Rightarrow N \approx 8 - 10 \text{ pontos}$$

## QUANTOS PONTOS MEDIR?

---

- Qual é a frequência de corte esperada
  - $R = 330 \pm 3 \Omega$
  - $C = 1.00 \pm 0.02 \mu\text{F}$
$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = 482 \pm 10 \text{ Hz}$$
- Sabemos que se medirmos com frequências entre 0 e 1600 Hz a distribuição de  $X^2_{red}$  é aproximadamente simétrica com mínimo bem definido
- Para ter uma medida experimental com incerteza da ordem da expectativa teórica, precisamos de cerca de 10 pontos experimentais distribuídos nas frequências acima
- Note que este estudo é válido pois a função proposta descreve bem os dados experimentais (valores mínimos de  $X^2_{red}$ )

## COMPARANDO RESULTADOS

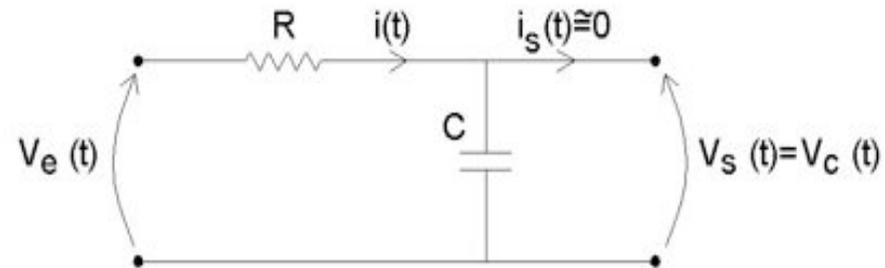
---

- Comparações de resultados experimentais, entre si, e com teorias, devem ser feitas de forma quantitativa.
  - Ajuste de curva e comparação com expectativa teoria, ou
  - $\chi^2_{\text{red}}$  entre curva teórica e dados experimentais
- A comparação visual é, em primeira ordem, boa, mas não é suficiente.
  - Efeitos de segunda ordem podem estar mascarados e passarem despercebidos.
  - Esperamos resultados quantitativos e não qualitativos.

# CIRCUITO INTEGRADOR

- Então:

$$\hat{G} = \frac{\hat{V}_s}{\hat{V}_e} = \frac{1}{j\omega RC}$$



- Ou ainda:

$$\hat{V}_s = \frac{1}{j\omega RC} \hat{V}_e$$

- Lembrando que:  $\hat{V}_e = V_e e^{j\omega t}$

- E que:  $\int \hat{V}_e dt = \frac{1}{j\omega} V_e e^{j\omega t} = \frac{1}{j\omega} \hat{V}_e$

- Temos que:

$$\hat{V}_s = \frac{1}{RC} \int \hat{V}_e dt$$

No limite que  $\omega \gg \omega_c$  o circuito acima funciona como integrador da tensão de entrada

# RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Quão grande tem que ser  $\omega$ ? Poucos grupos indicaram qual  $\omega$  foi utilizado!

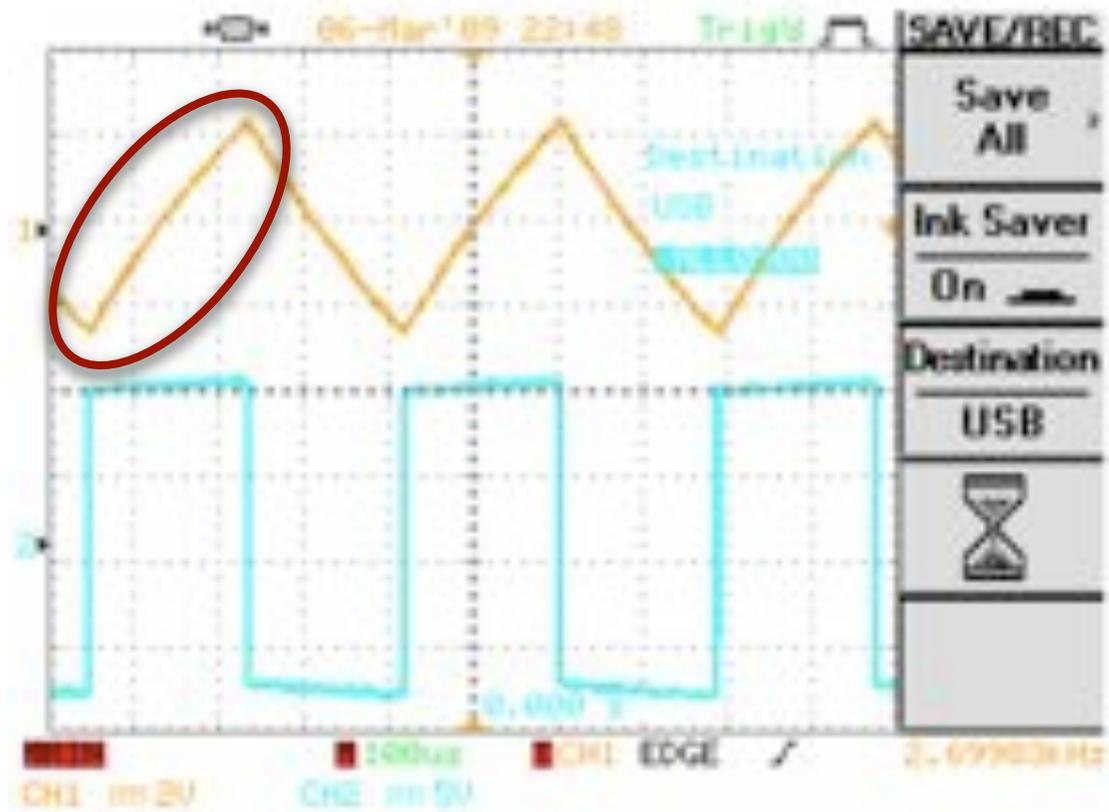
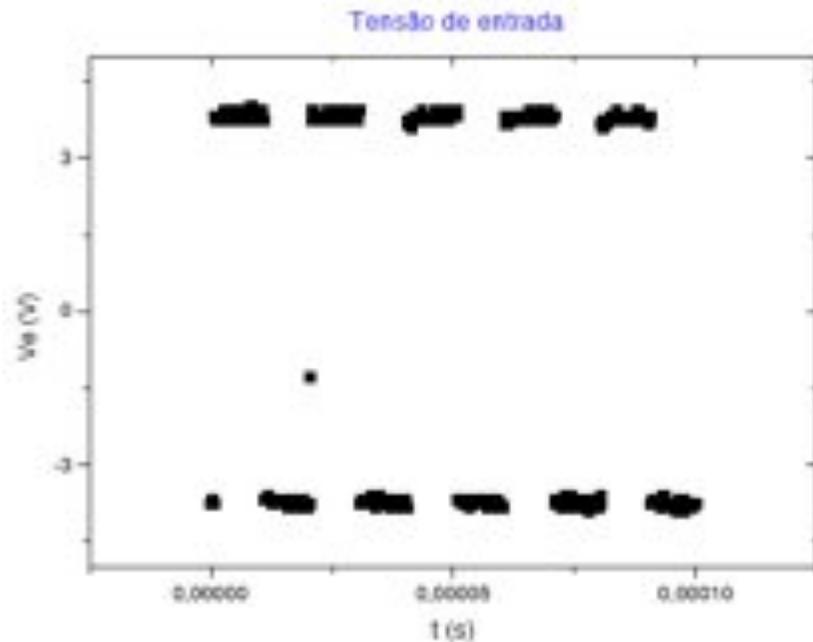
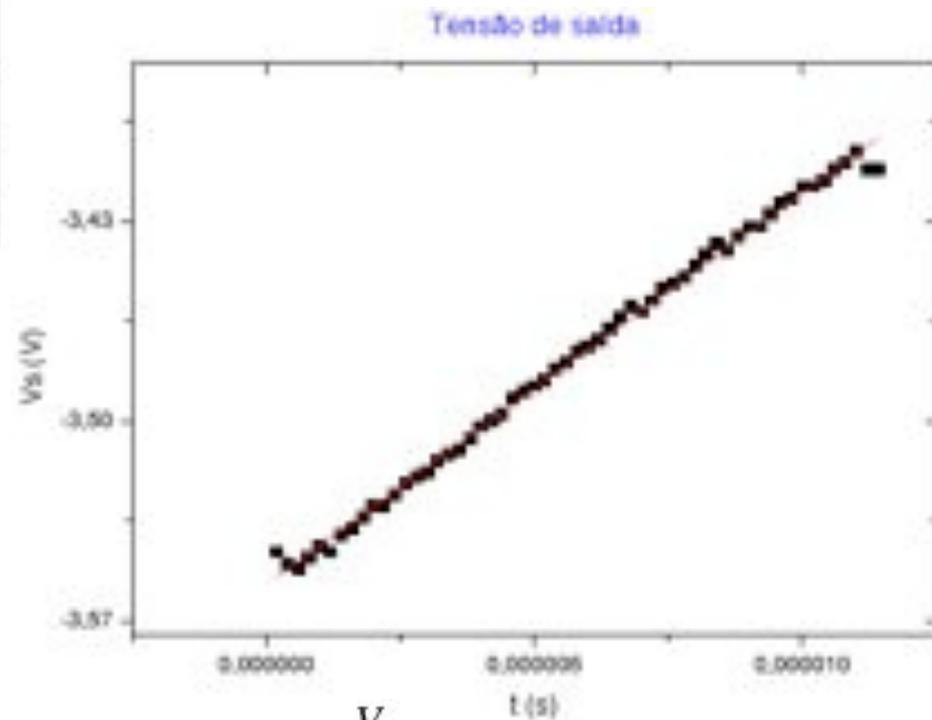


Figura 6

# RESULTADOS EXPERIMENTAIS

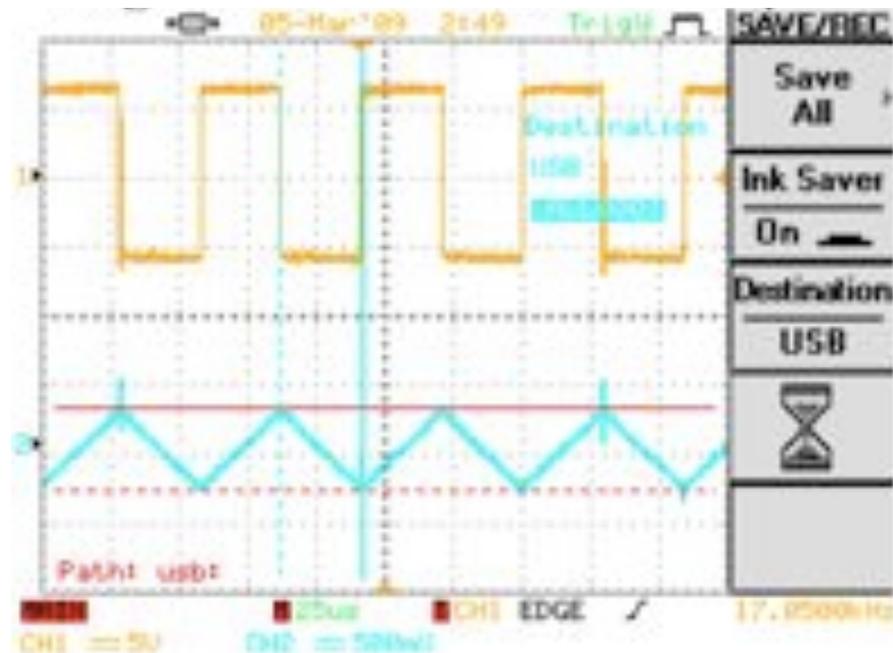


$$\text{Logo } \frac{V_e}{RC} = \frac{3,8}{333 \cdot 1,0221 \times 10^{-6}} = 1,116(27) \times 10^4 \frac{V}{\Omega F}$$



Pela reta ajustada encontramos uma inclinação  $\alpha = 1,369(11) \times 10^4 \frac{V}{\Omega F}$

## RESULTADOS EXPERIMENTAIS



Gerando uma onda quadrada, verifica-se facilmente que a tensão de saída é a integral da tensão de entrada, para  $\omega \gg \omega_c$ . Tomando a frequência  $\omega$  mínima para que seja válida a relação entre  $V_s$  e  $V_e$  como aproximadamente 7 kHz, calcula-se  $V_s = 1:RC \int V_e dt$  e o valor obtido é  $(0,125 \pm 0,016)$  V, compatível com o valor medido de  $(0,130 \pm 0,013)$  V.

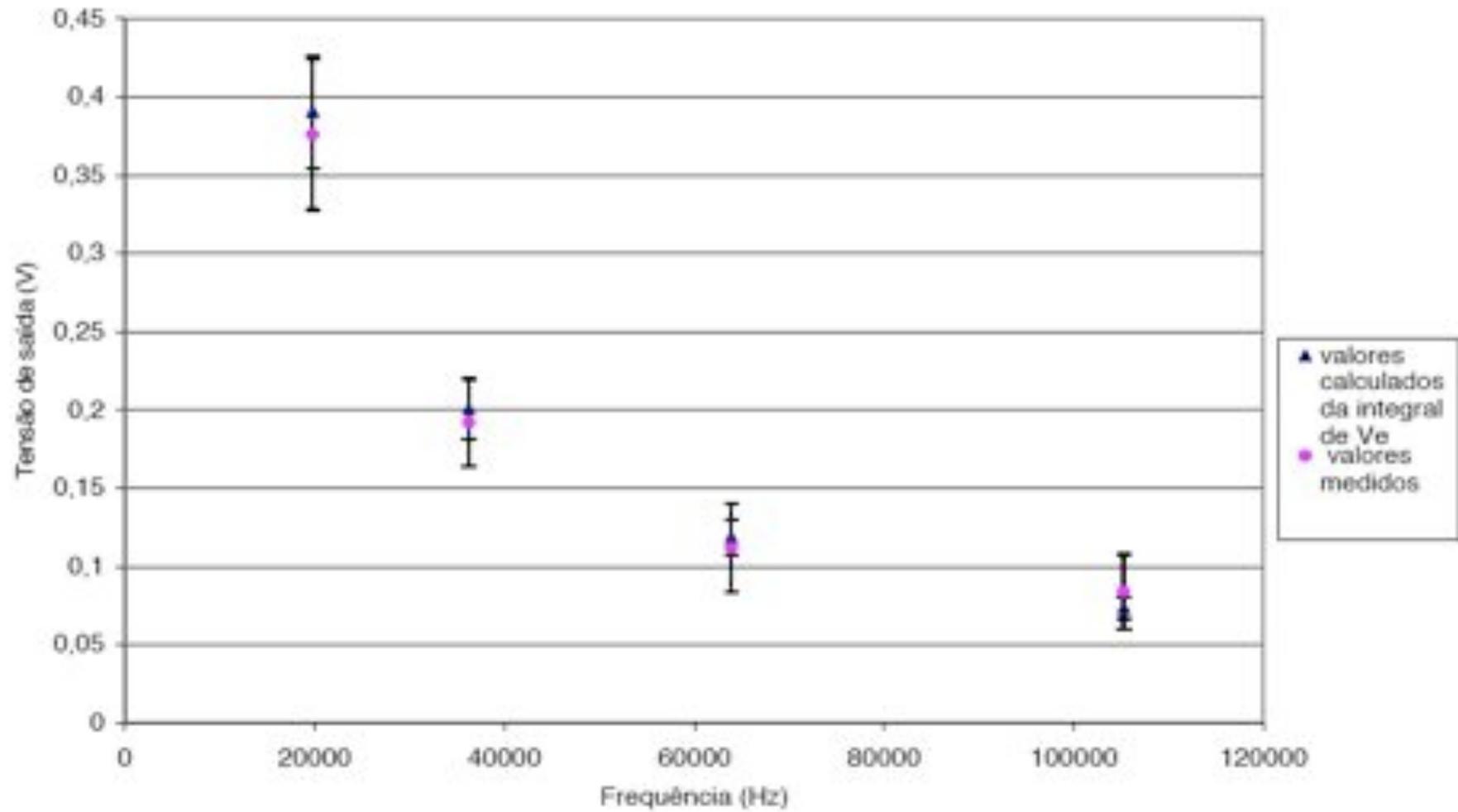
Nesta parte do experimento foi utilizado um resistor de  $(333,40 \pm 3,73)\Omega$ , portanto  $\omega_c = 480$  Hz.

Para verificar se a inclinação do triângulo é compatível com essa expressão, deve-se verificar que  $\Phi_g = -\pi/2 = -90^\circ$ .

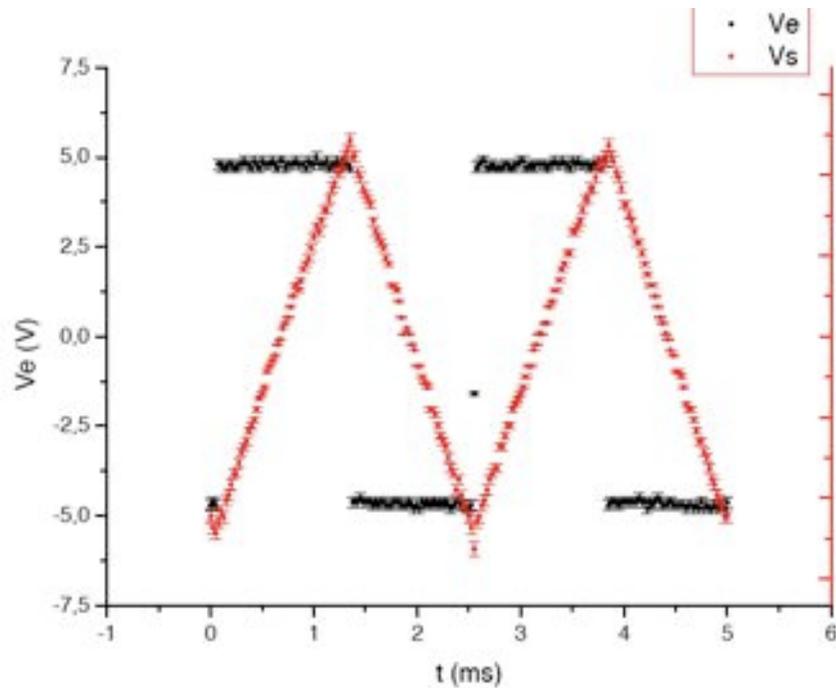
Tendo  $\omega = 16$  kHz e  $\omega_c = 0,48$  kHz obtém-se  $\Phi_g = -(88,28 \pm 0,65)^\circ$ .

Calculando o arco tangente do ângulo de inclinação do triângulo a partir das medidas usando o cursor do osciloscópio, obtém-se  $\Phi_g = -(89,990 \pm 0,020)^\circ$ .

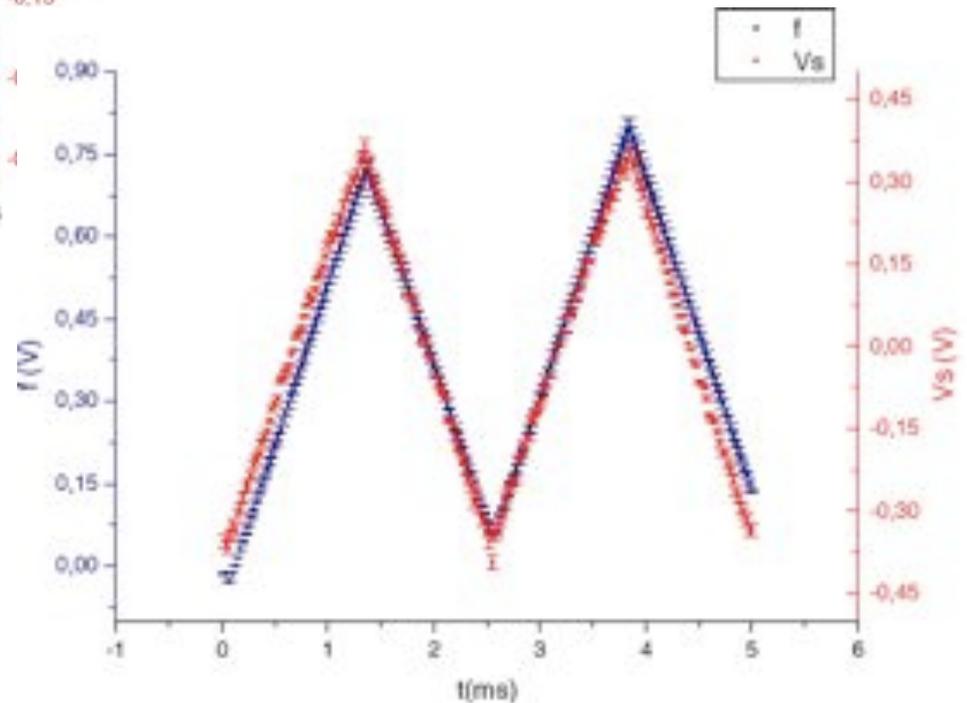
# UM ESTUDO INTERESSANTE



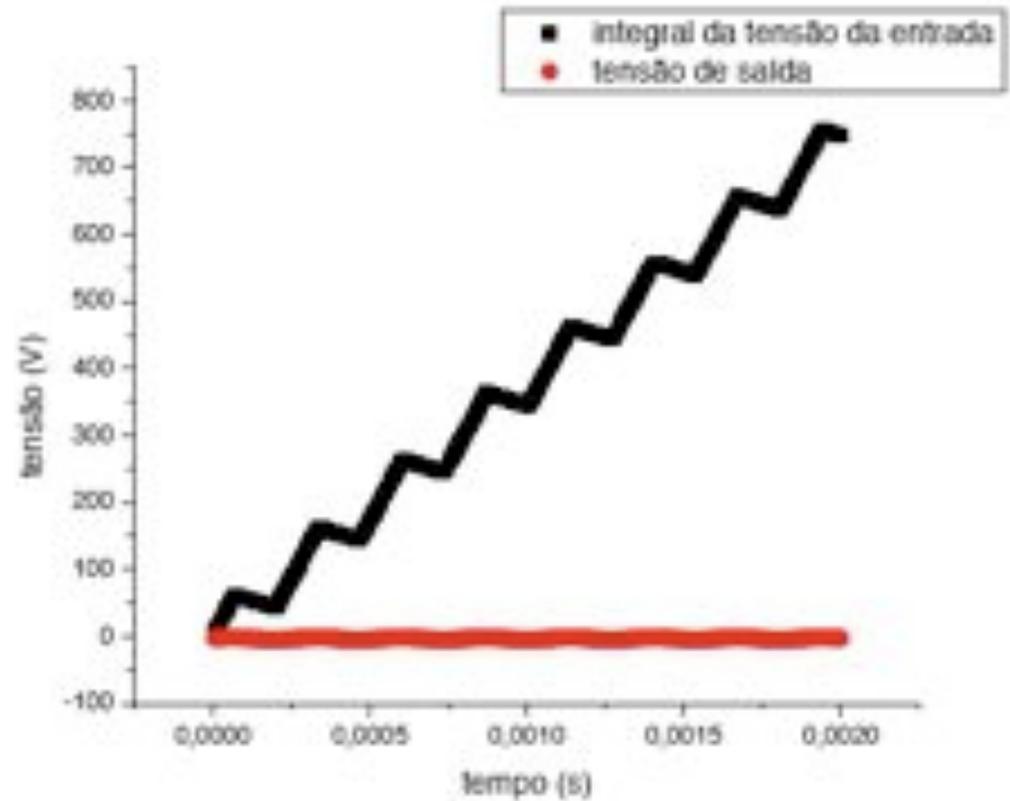
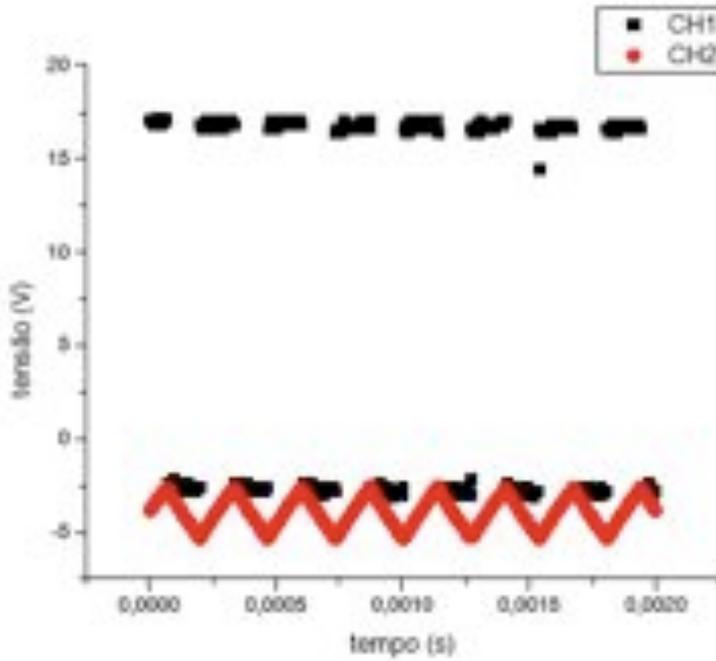
# AI A COISA PEGA...



A integral calculada tem um termo que aumenta constantemente no tempo

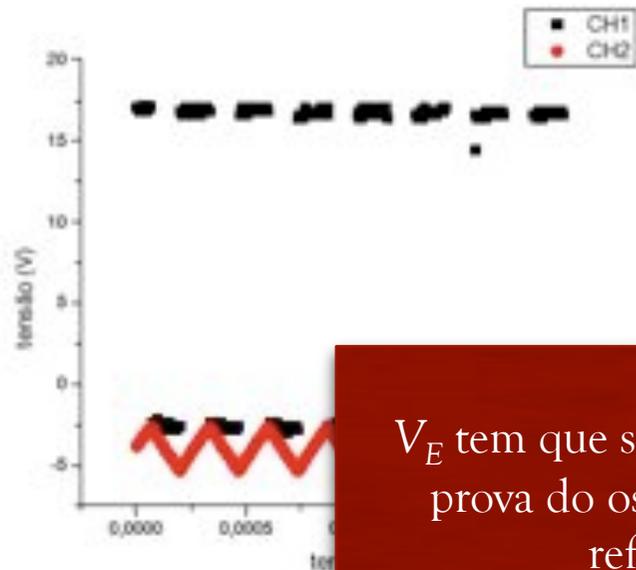


# AI A COISA PEGA...

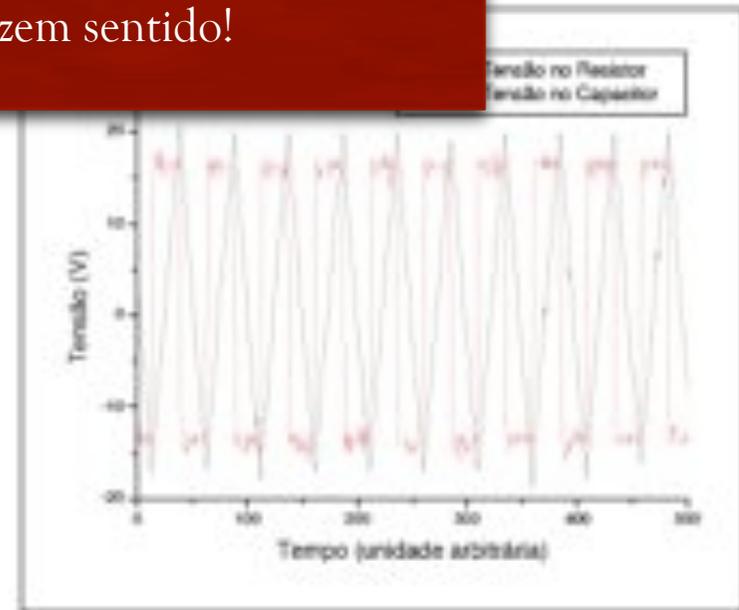
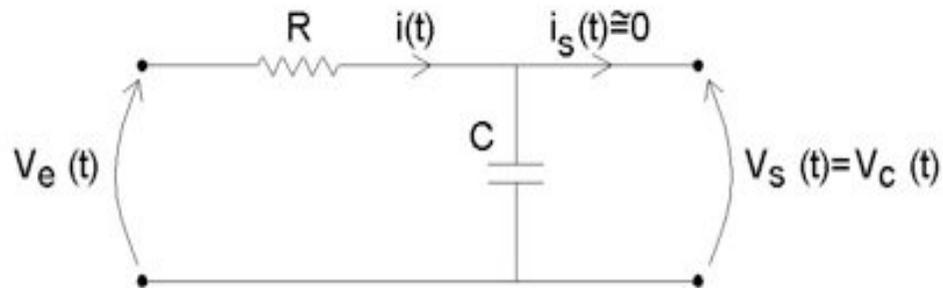


Mais evidente ainda neste grupo

# QUAL A RAZÃO? ONDE ESTÁ O TERRA? QUAL A REFERÊNCIA UTILIZADA?



$V_E$  tem que ser simétrico em torno do zero. A ponta de prova do osc. Define uma referência. Cuidado com referências que não fazem sentido!



## MOTIVAÇÃO DESTA SEMANA

---

- A medida do Ganho  $\times f$  do circuito RC, semana passada, foi bastante cansativa
  - Ajustar frequência
  - Medir  $V_e$
  - Medir  $V_c$
  - Repetir procedimento para cada frequência
  - Pelo menos 1 hora de tomada de dados
- Que tal fazer a mesma medida com apenas 1 frequência em 5 minutos?
  - Fundamentos teóricos e novos métodos de análise

# SÉRIES DE FOURIER

---

- Joseph Fourier, paper submetido em 1807
  - Referees: Lagrange, Laplace, Malus e Legendre
  - 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

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

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

# SÉRIES DE FOURIER

---

- Hoje em dia, usamos formalismos mais abrangentes

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

Use a fórmula de Euler e substitua na expressão anterior

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

- Com:

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

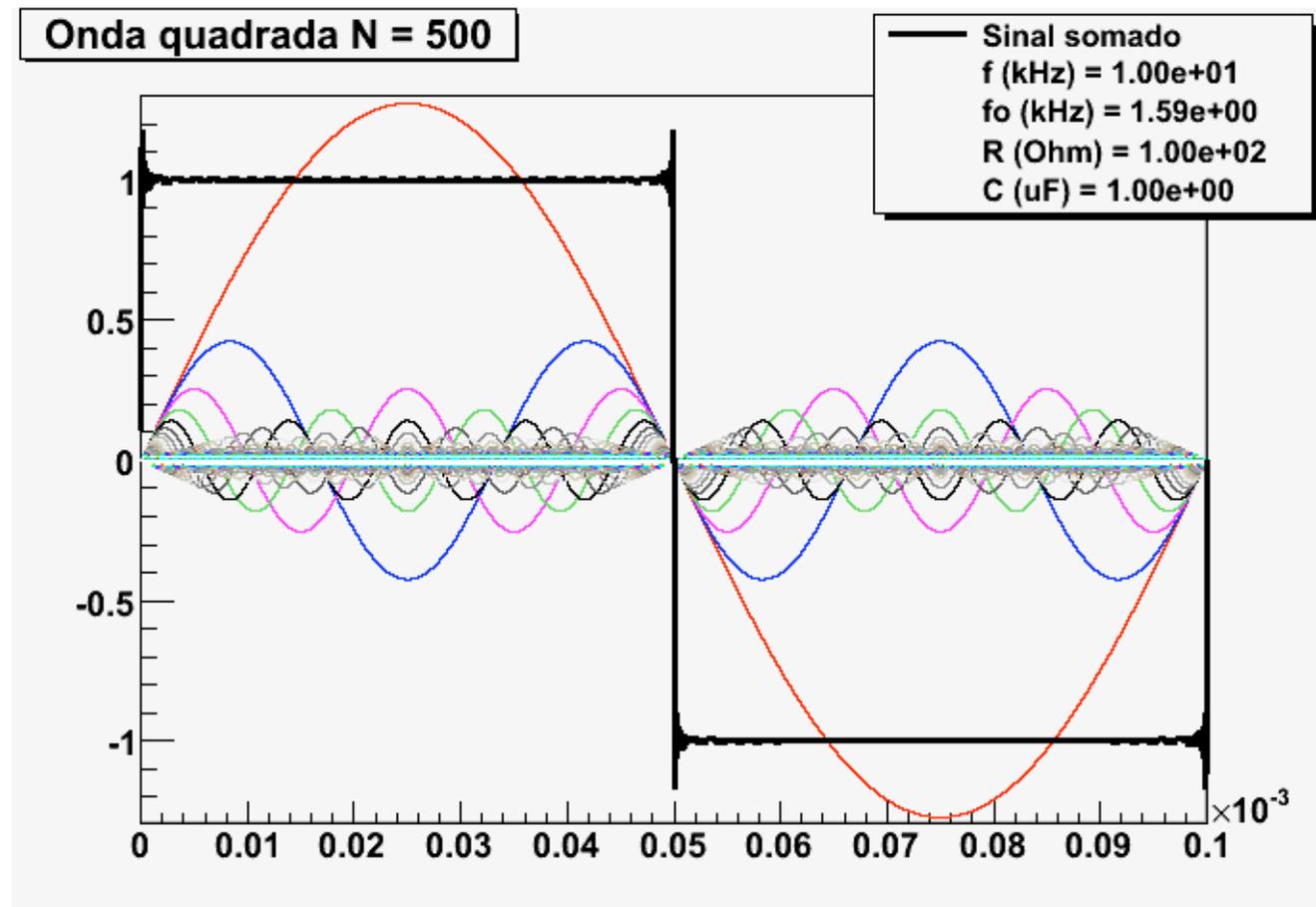
- As constantes  $a_n$  e  $b_n$  da expressão tradicional podem ser obtidas como:

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

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

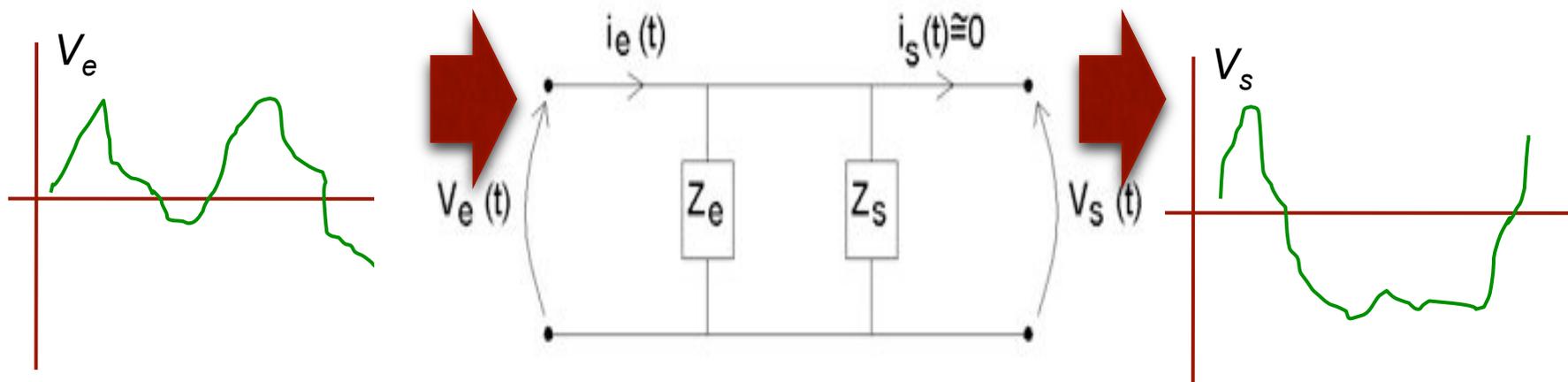
## EXEMPLO: ONDA QUADRADA

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



# SÉRIES DE FOURIER

- Circuitos podem causar distorções em sinais elétricos



$$V_e = \begin{bmatrix} V_1^s \sin(\omega_1 t) + \\ V_1^c \cos(\omega_1 t) + \\ V_2^s \sin(\omega_2 t) + \\ V_2^c \cos(\omega_2 t) + \\ \dots + \\ V_N^s \sin(\omega_N t) + \\ V_N^c \cos(\omega_N t) \end{bmatrix}$$

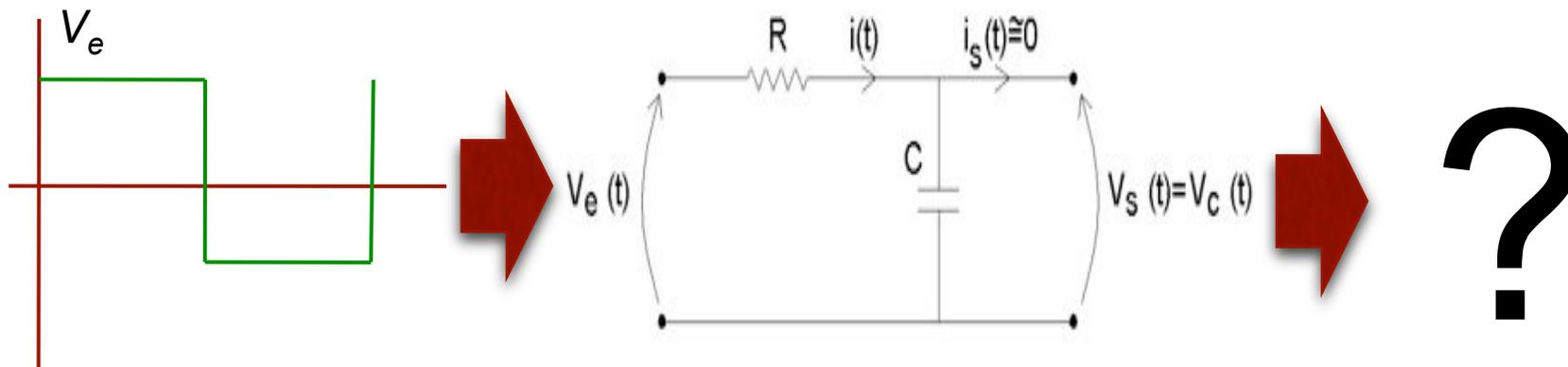
$$G_i = G(\omega_i, R, C, \dots)$$

$$\phi_i = \phi(\omega_i, R, C, \dots)$$

$$V_s = \begin{bmatrix} G_1 \cdot V_1^s \sin(\omega_1 t + \phi_1) + \\ G_1 \cdot V_1^c \cos(\omega_1 t + \phi_1) + \\ G_2 \cdot V_2^s \sin(\omega_2 t + \phi_2) + \\ G_2 \cdot V_2^c \cos(\omega_2 t + \phi_2) + \\ \dots + \\ G_N \cdot V_N^s \sin(\omega_N t + \phi_N) + \\ G_N \cdot V_N^c \cos(\omega_N t + \phi_N) \end{bmatrix}$$

# SÉRIES DE FOURIER

- O que acontece com uma onda quadrada em um filtro RC?

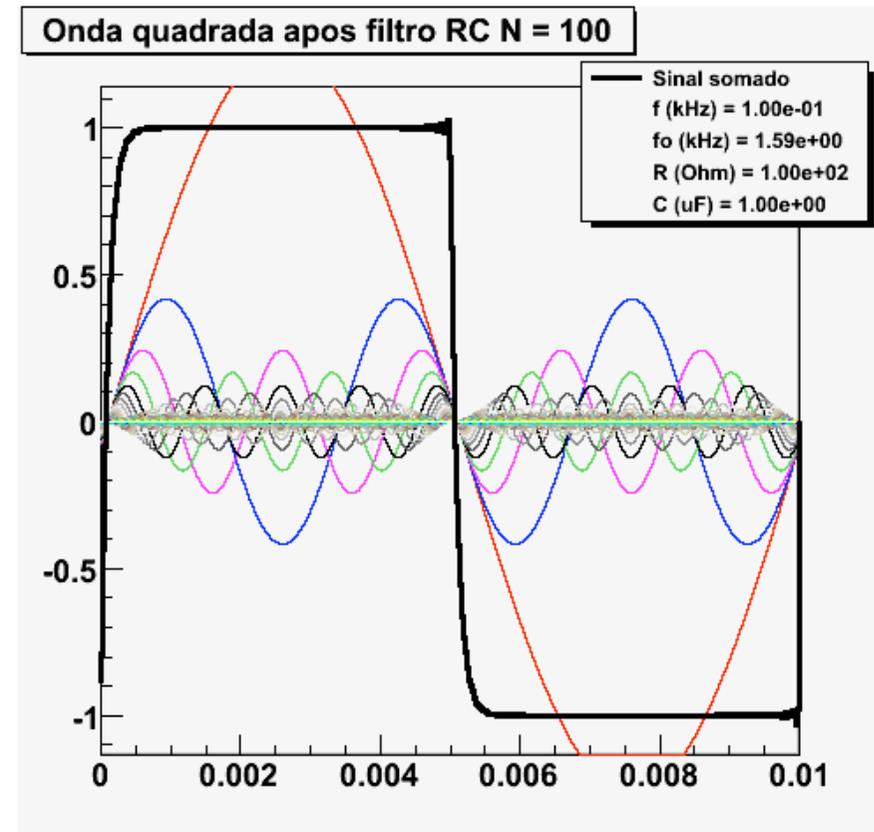
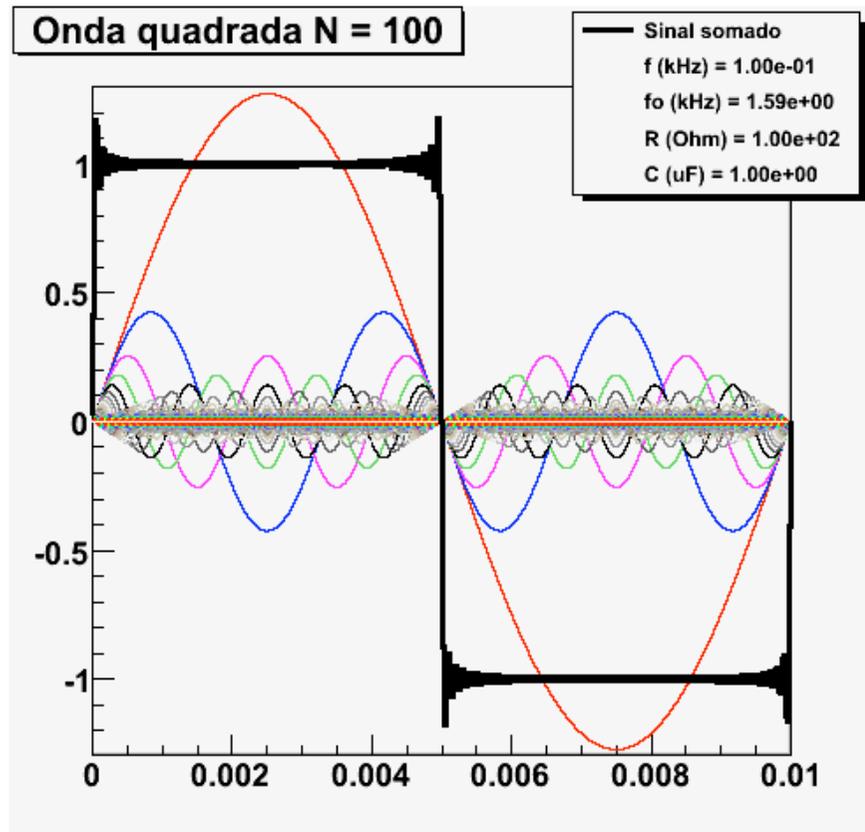


$$V_e = V_0 \left[ \begin{array}{l} \frac{4}{\pi} \sin(\omega t) + \\ \frac{4}{3\pi} \sin(3\omega t) + \\ \frac{4}{5\pi} \sin(5\omega t) + \dots \end{array} \right] \rightarrow G(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^2}} \rightarrow V_s = V_0 \left[ \begin{array}{l} G_\omega \cdot \frac{4}{\pi} \sin(\omega t + \phi_\omega) + \\ G_{3\omega} \cdot \frac{4}{3\pi} \sin(3\omega t + \phi_{3\omega}) + \\ G_{5\omega} \cdot \frac{4}{5\pi} \sin(5\omega t + \phi_{5\omega}) + \dots \end{array} \right]$$

$$\phi(\omega) = \arctan\left(-\frac{\omega}{\omega_c}\right)$$

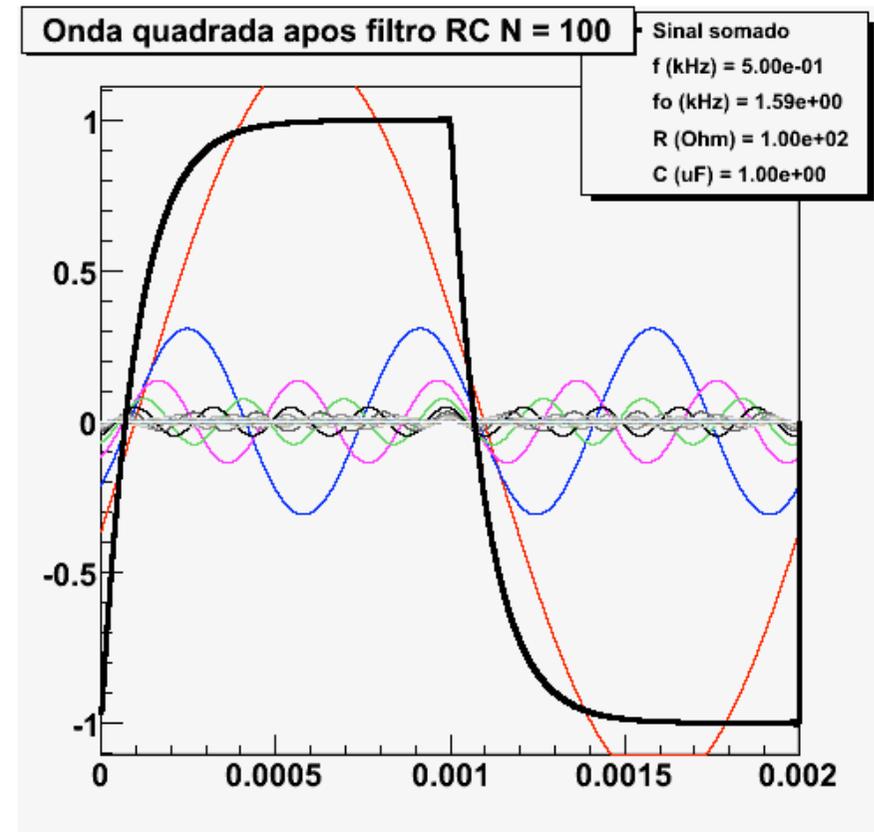
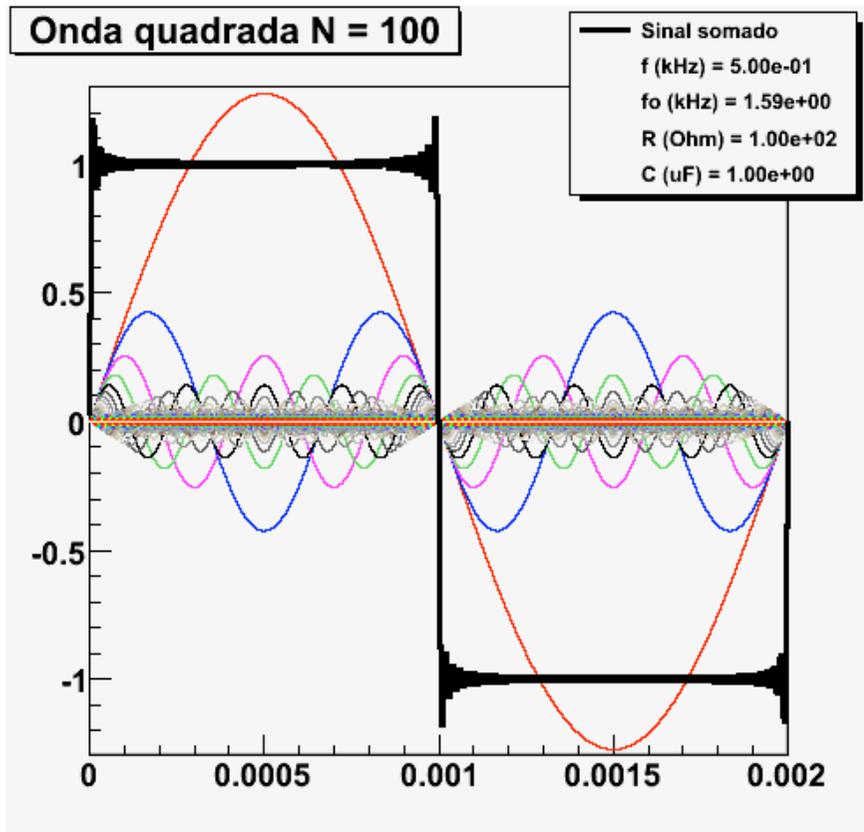
# FILTRO RC ( $R = 100 \Omega$ , $C = 1 \mu\text{F}$ ) $\rightarrow F_C \sim 1.5 \text{ KHZ}$

$$f_{\text{signal}} = 100 \text{ Hz}$$



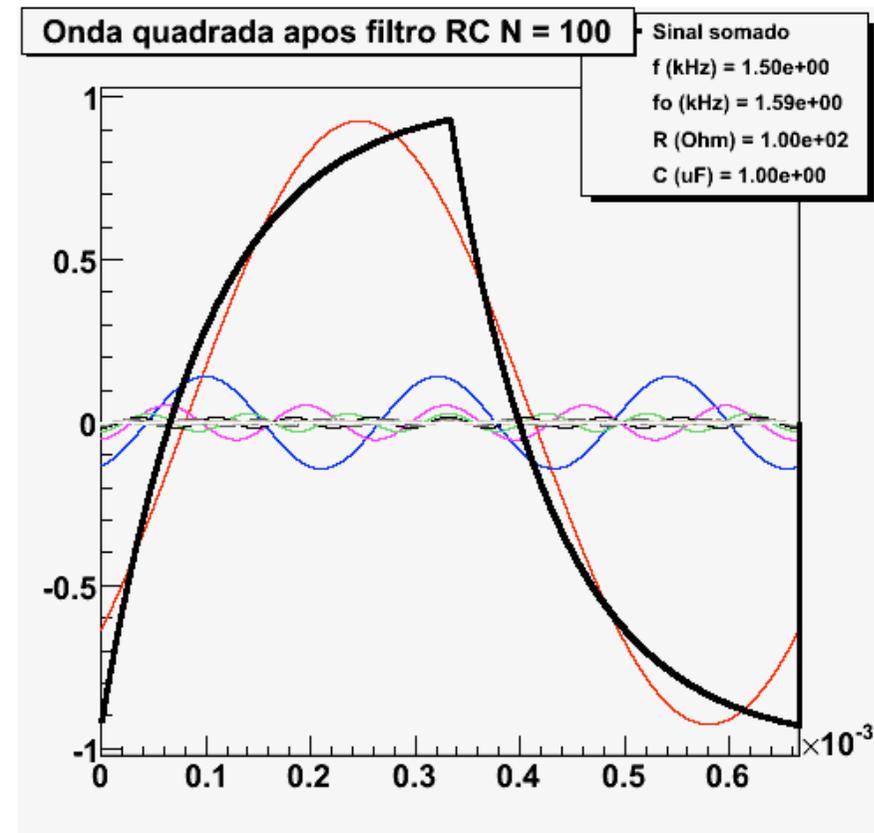
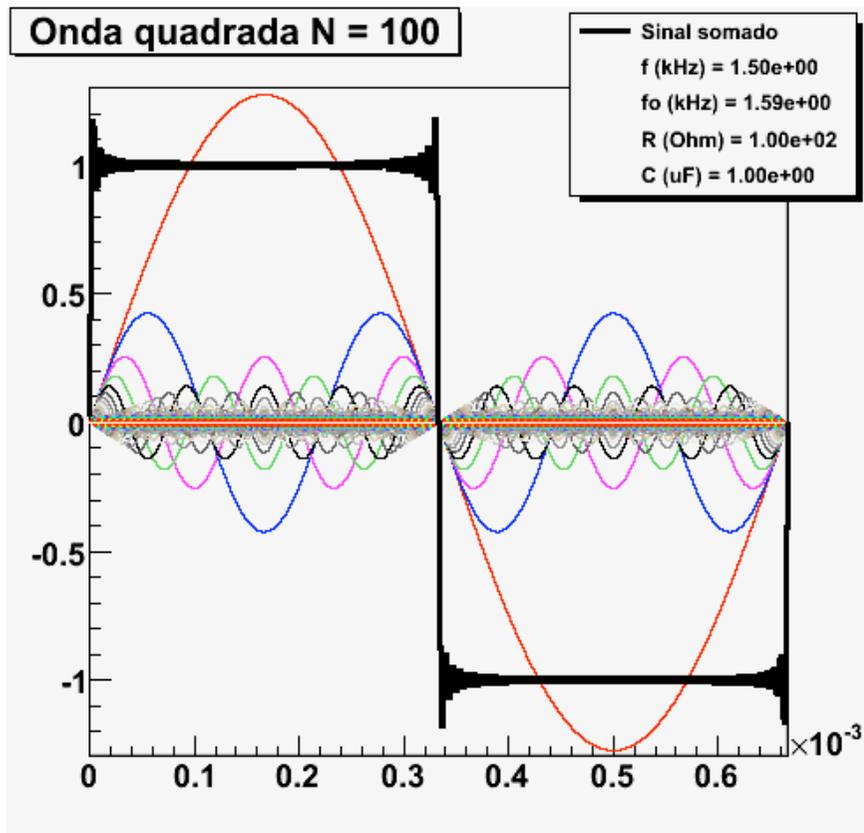
# FILTRO RC ( $R = 100 \Omega$ , $C = 1 \mu\text{F}$ ) $\rightarrow F_C \sim 1.5 \text{ KHZ}$

$$f_{\text{signal}} = 500 \text{ Hz}$$



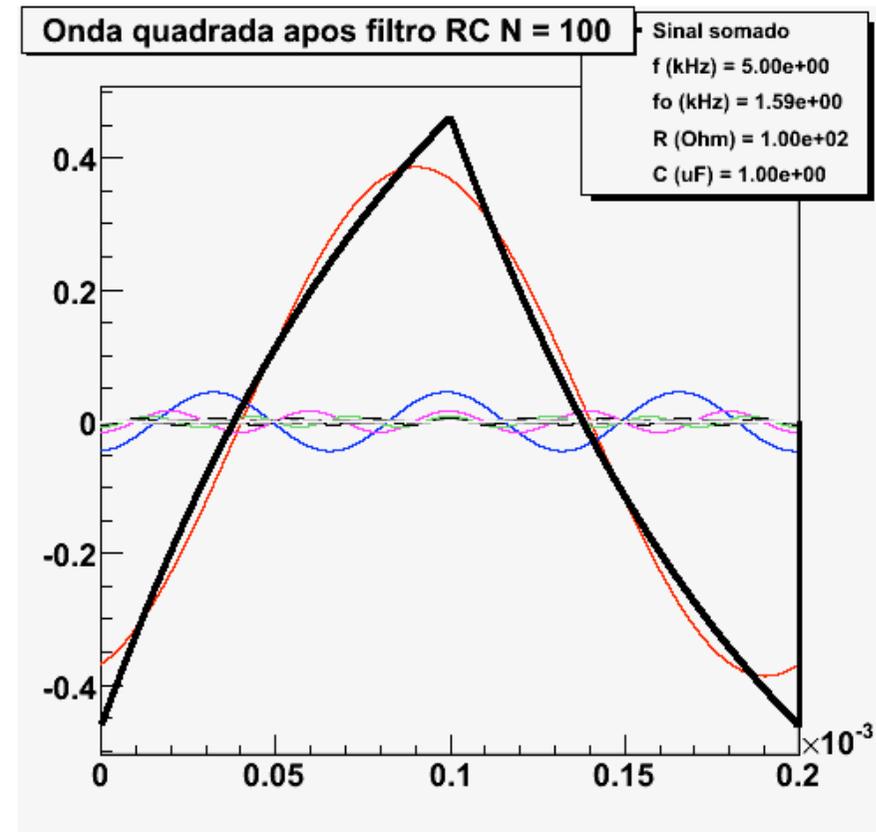
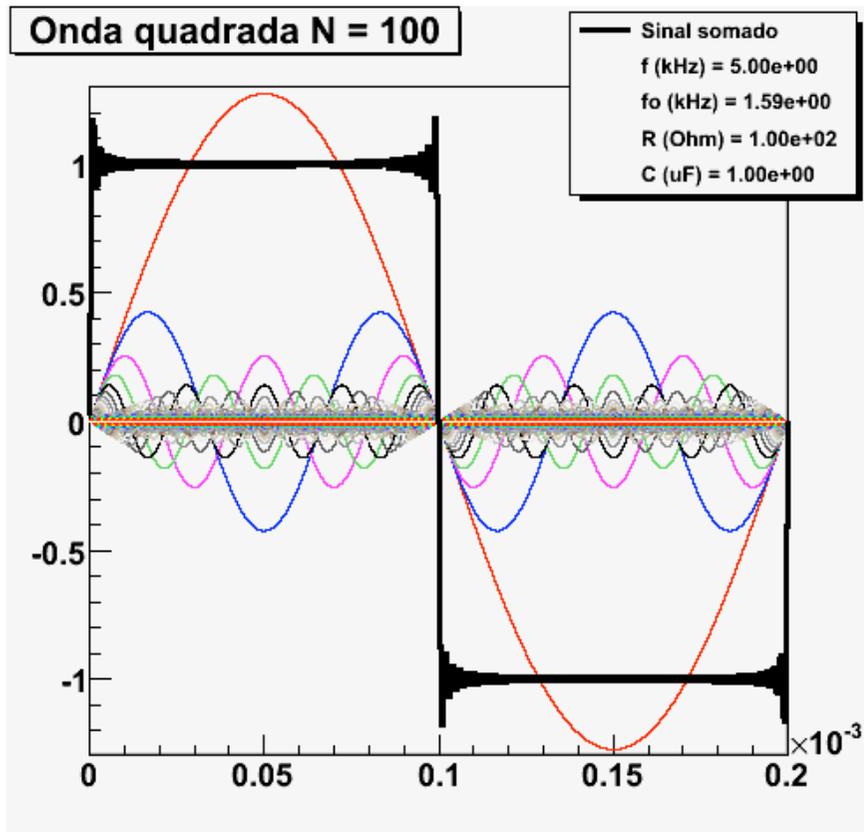
# FILTRO RC ( $R = 100 \Omega$ , $C = 1 \mu\text{F}$ ) $\rightarrow F_C \sim 1.5 \text{ KHZ}$

$$f_{\text{sinial}} = 1500 \text{ Hz}$$



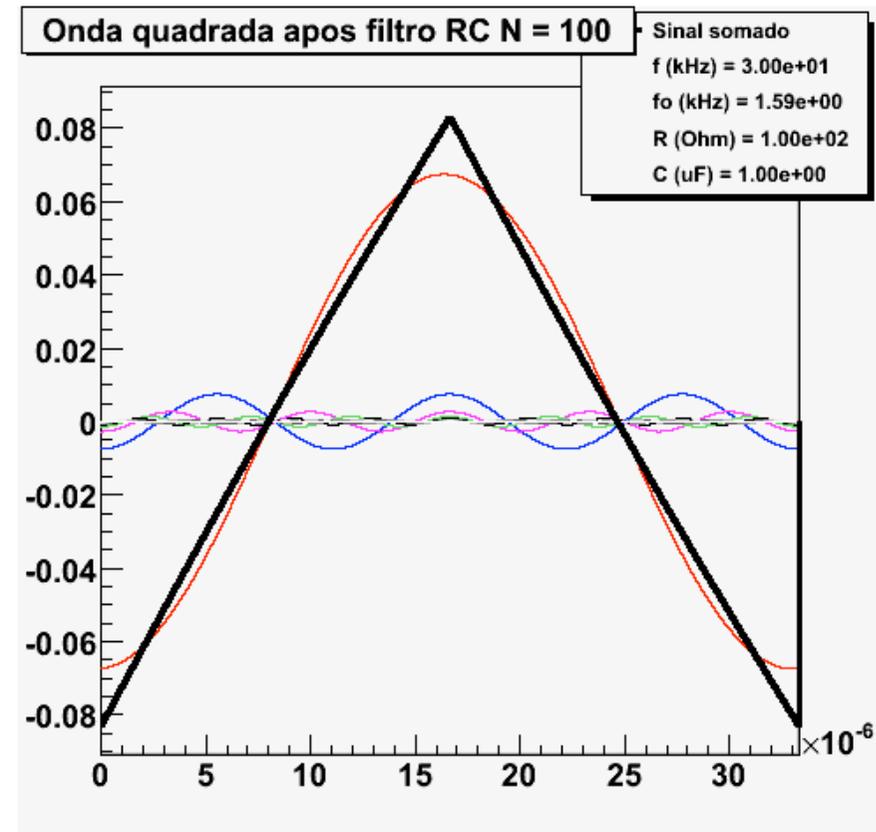
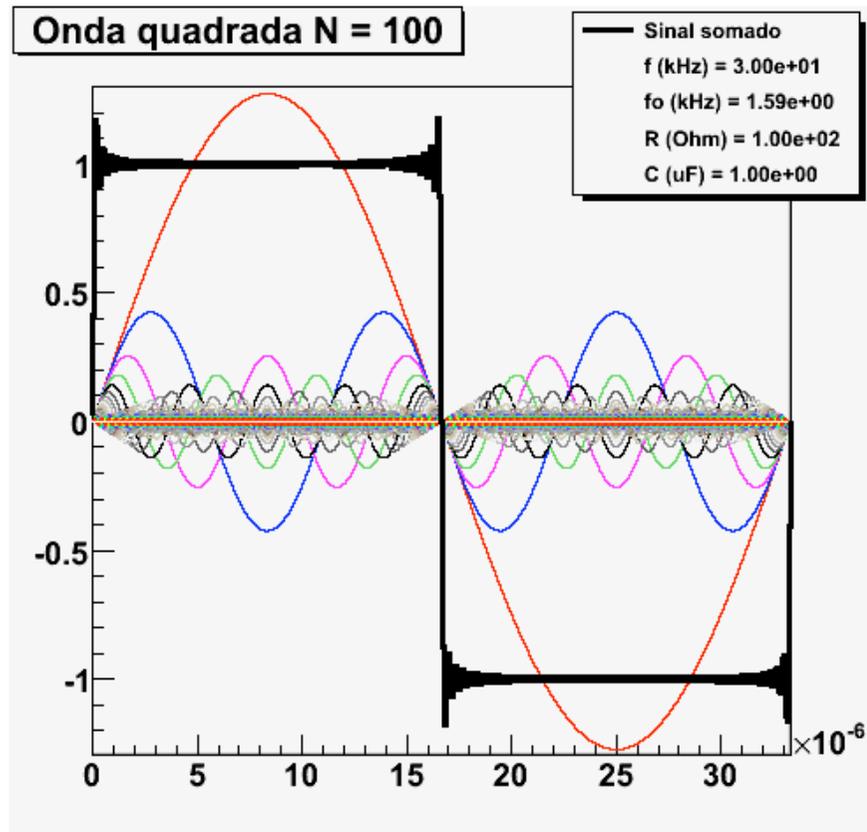
# FILTRO RC ( $R = 100 \Omega$ , $C = 1 \mu\text{F}$ ) $\rightarrow F_C \sim 1.5 \text{ KHZ}$

$$f_{\text{sinal}} = 5 \text{ kHz}$$



# FILTRO RC ( $R = 100 \Omega$ , $C = 1 \mu\text{F}$ ) $\rightarrow F_C \sim 1.5 \text{ KHz}$

$$f_{\text{signal}} = 30 \text{ kHz}$$



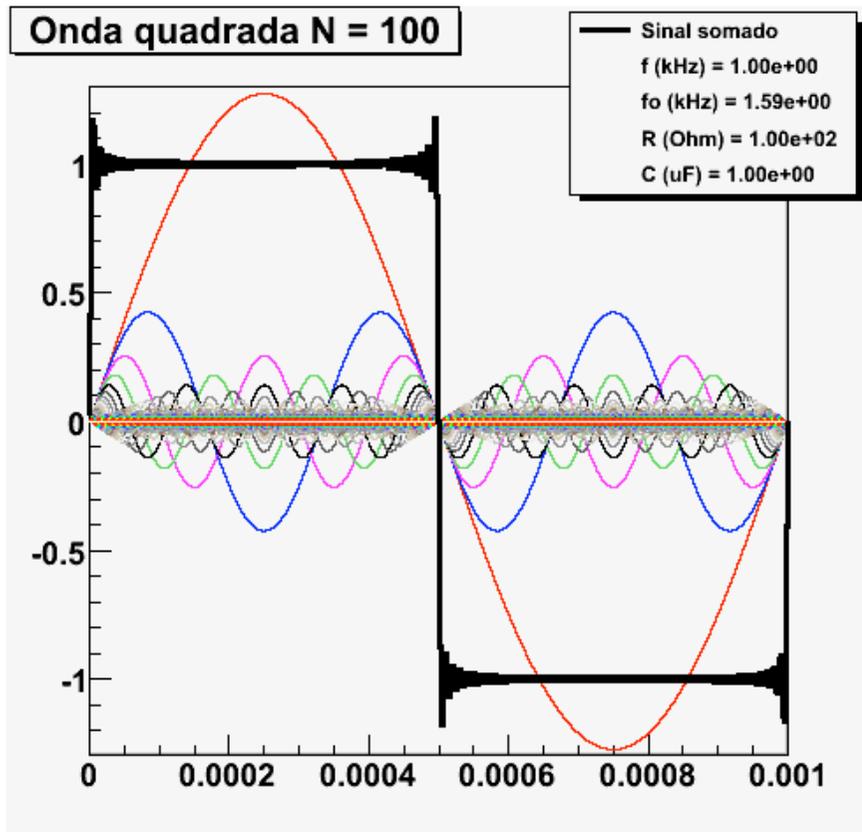
# COMO ANALISAR AS FREQUÊNCIAS DE UM SINAL

---

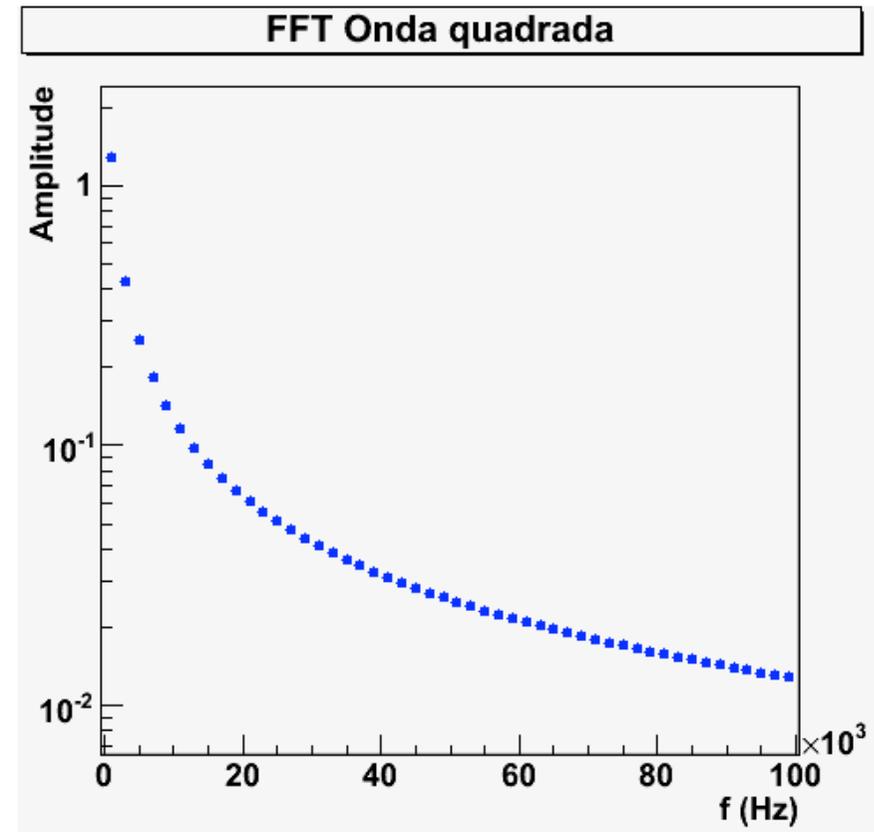
- Análise de Fourier ou transformada de Fourier
  - É um gráfico no qual o eixo-X representa a frequência da componente de Fourier e o eixo-Y mostra a amplitude daquela componente
  - Deste modo pode-se ver claramente qual a contribuição de cada harmônica para o sinal final e podemos projetar os circuitos 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

# EXEMPLO: ONDA QUADRADA

SINAL

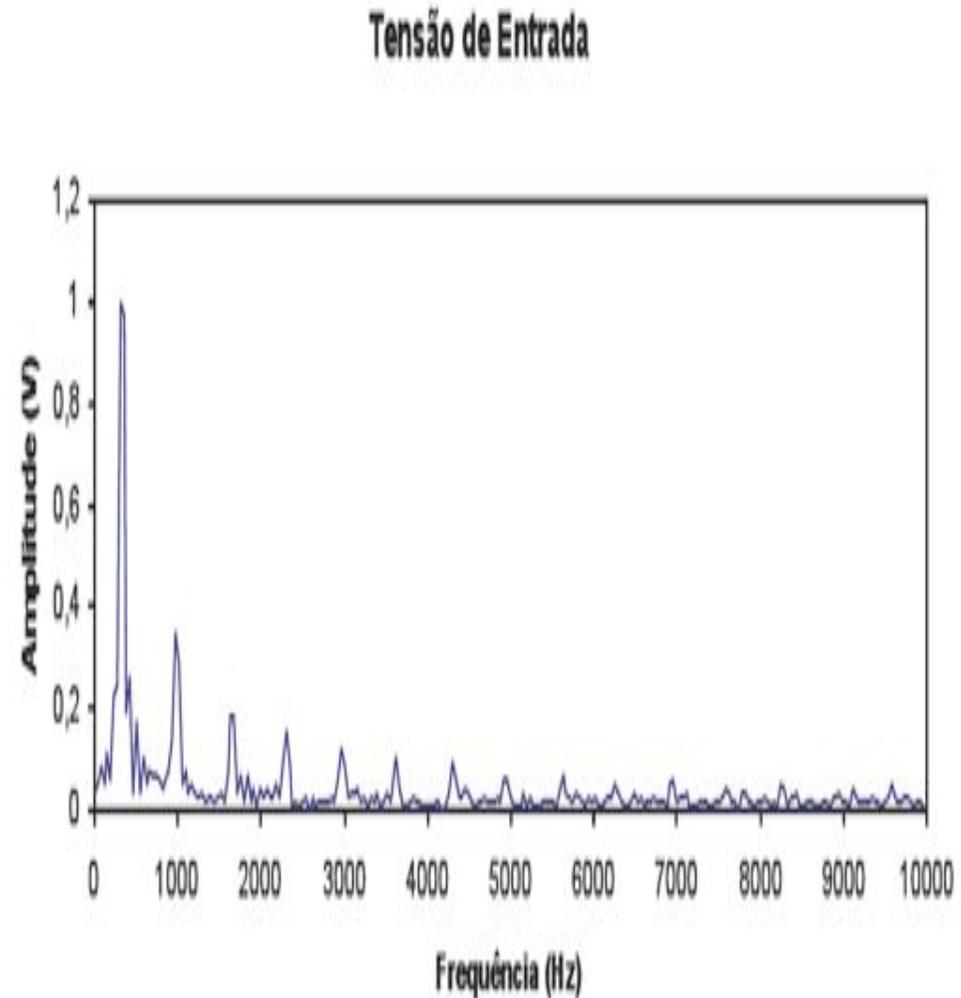


Transformada de Fourier  
Espectro de amplitude



## EXPERIMENTALMENTE...

- A transformada de Fourier é mostrada em forma de um espectro contínuo
- Todas as frequências
- Os picos correspondem às frequências principais do sinal, pois possuem amplitude significativas
- Como medir a posição e amplitude dos picos?

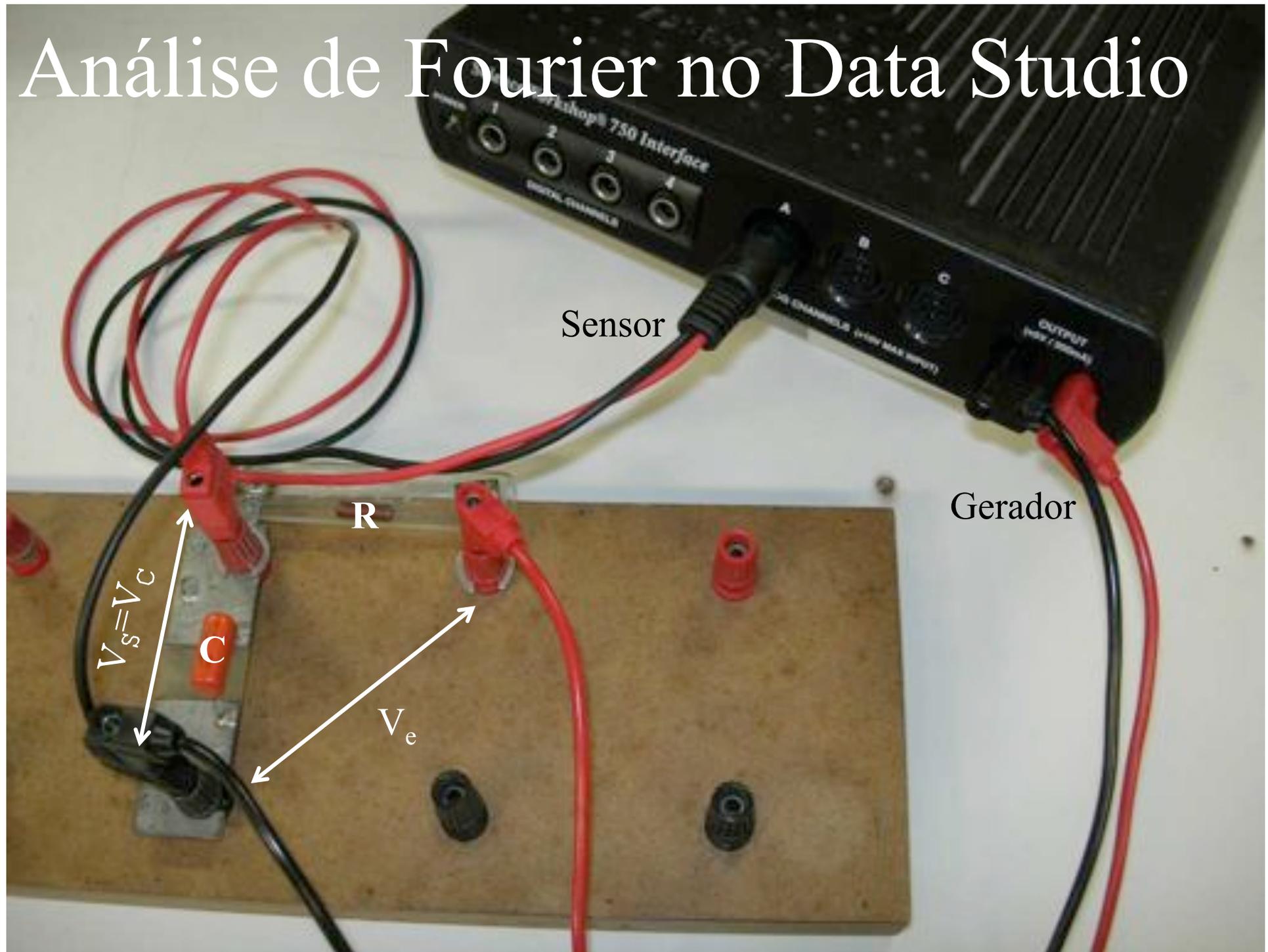


## OBJETIVOS DA SEMANA

---

- Fazer análise de Fourier experimental de alguns tipos de onda
  - Senoidal, quadrada e triangular
- Reavaliação do filtro RC a partir de técnicas de análise de Fourier
  - Obter a curva de ganho do RC a partir de uma transformada de Fourier
  - Validar o circuito integrador a partir de uma análise de Fourier

# Análise de Fourier no Data Studio





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.

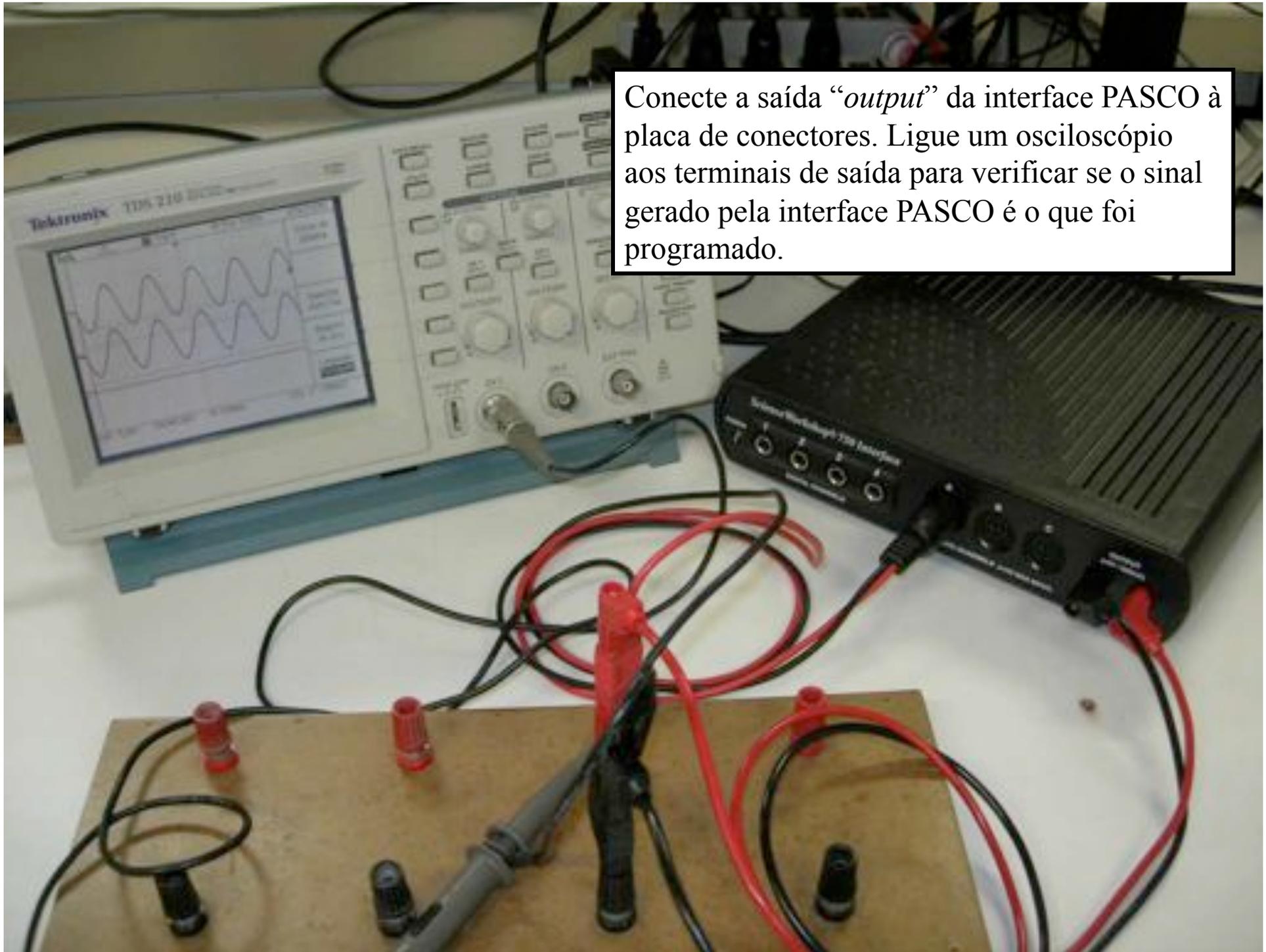
2) Conecte um adaptador para pino banana na **entrada A, B ou C**.

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

The screenshot displays the DataStudio software interface. At the top, there is a menu bar (File, Edit, Experiment, Window, Help) and a toolbar with buttons for Summary, Setup, Start, Calculate, and Curve Fit. A digital display shows '00:00.0'. On the left, a 'Data' panel shows 'Output voltage (V)'. Below it is a 'Displays' panel with options like Digits, FFT, Graph, Histogram, Meter, Scope, Table, and Workbook. The main workspace is titled 'Experiment Setup' and shows a 'Science Workshop 750' interface box. A 'Signal Generator' window is open, showing a 'Sine Wave' configuration with an amplitude of 5.000 V and a frequency of 100.000 Hz. A blue arrow points from the 'Signal Generator' window to the 'Sine wave' icon on the Science Workshop 750 interface box.

Arraste o gerador de sinal até a saída no 750. Defina uma frequência em torno de 100 Hz e 5V de amplitude.

Conecte a saída “*output*” da interface PASCO à placa de conectores. Ligue um osciloscópio aos terminais de saída para verificar se o sinal gerado pela interface PASCO é o que foi programado.



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

The screenshot displays the DataStudio software interface. At the top, there are menu options like 'Calculate' and 'Curve Fit'. A central window titled 'SCSI ID:2' shows a hardware device with a 'Voltage Sensor' icon connected to its input. A blue arrow points from the 'Voltage Sensor' icon in the left-hand component palette to the sensor icon on the hardware device. Below this, the 'Sensor Properties' dialog box is open, showing the 'Voltage Sensor' configuration. The 'General' tab is active, displaying the model 'CI-6503', a sensitivity of 'Low (1e)', and a sample rate of '10000 Hz'. The 'Measurement' tab is also visible. To the right, the 'Signal Generator' dialog box is open, showing a 'Sine Wave' configuration with an amplitude of '5000 v' and a frequency of '100000 Hz'. The Windows taskbar at the bottom shows the 'Iniciar' button and several open applications, including 'DataStudio' and 'Sem título2 - BrOffice...'. The system clock shows '10:48'.

---

As conexões físicas do 750 foram feitas.

As conexões virtuais do 750 foram feitas. Definindo a saída como um gerador senoidal e a entrada como um sensor de voltagem.

Falta medir: Isto é, definir qual “instrumento de medida” deverá ser ligado ao sensor de voltagem...

The screenshot shows the DataStudio software interface. At the top, there is a menu bar (File, Edit, Experiment, Window, Display, Help) and a toolbar with buttons for Summary, Setup, Stop, Calculate, and Curve Fit. A digital display shows '00:09.2'. The main workspace is divided into several panels:

- Experiment Setup:** Shows a Science Workshop 750 interface with a Voltage Sensor connected to a sine wave source. The sensor is labeled 'Voltage Sensor' and the source is labeled 'Sine wave'. The setup is identified as 'SCSI ID:2'.
- Scope 1:** Displays a red sine wave on a grid. The vertical axis is labeled 'Voltage, ChA' with a scale of '1 V/div'. The horizontal axis is labeled '5 ms/div'. The scope shows approximately 5 cycles of the sine wave.
- Generator:** A control panel for the sine wave source, showing 'Wave' type, 'Amplitude' set to '5.000 V', and 'Frequency' set to '100.000 Hz'. It also includes 'Auto' and 'On/Off' buttons.
- Left Panels:** A 'Data' panel on the left shows 'Output Voltage (V)' and 'Voltage (mA (V))'. A 'Displays' panel on the bottom left lists various display types: Digits, FFT, Graph, Histogram, Meter, Scope, Scope 1, Table, and Workbook.

Two text boxes with arrows provide instructions:

- A blue box with black text: "Arraste o Scope até o sensor de voltagem." (Drag the Scope to the voltage sensor).
- A white box with black text: "“START” o processo." (Start the process).

The Windows taskbar at the bottom shows the 'Iniciar' button, the DataStudio application, and the system tray with the time '10:52'.

DataStudio

File Edit Experiment Window Display Help

Summary Setup Stop 00:57.9 Calculate Curve Fit

Data

- Output voltage (V)
- Voltage, ChA (V)

Experiment Setup

Sensors Options Timers Change SCSI ID:2

Science Workshop 750

Sensors

- Heart Rate Sensor
- Humidity Sensor
- Ion Selective Elect.
- IR Sensor
- Laser Switch
- Light Sensor

Voltage Sensor

Sine wave

Scope 1

— Voltage, ChA

1 V/div

0 Offset

5 ms/div

5000 samples

Generator

Wave

Frequency

5.000 V 100.000 Hz

1.000

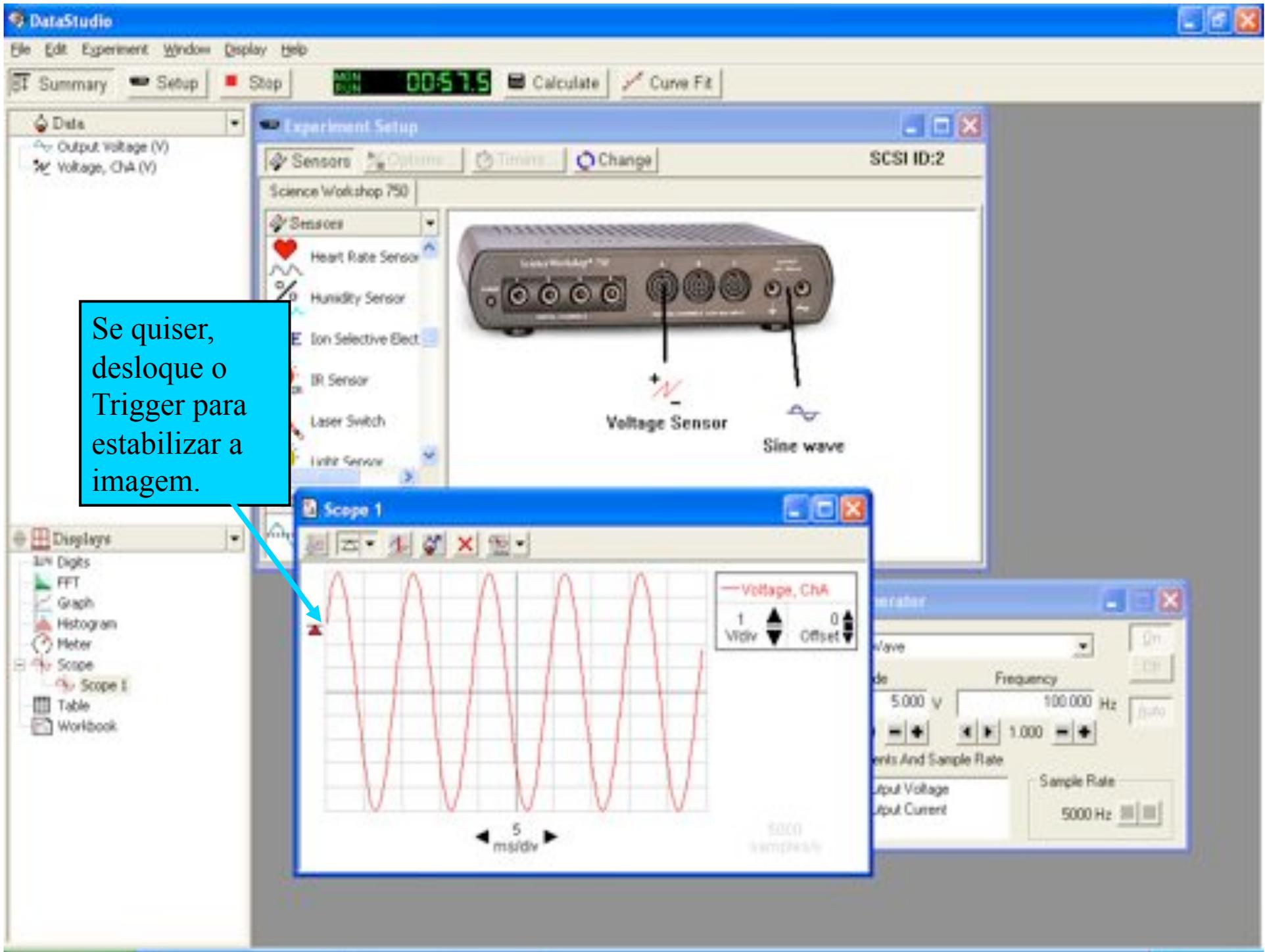
Output Voltage

Output Current

Sample Rate

5000 Hz

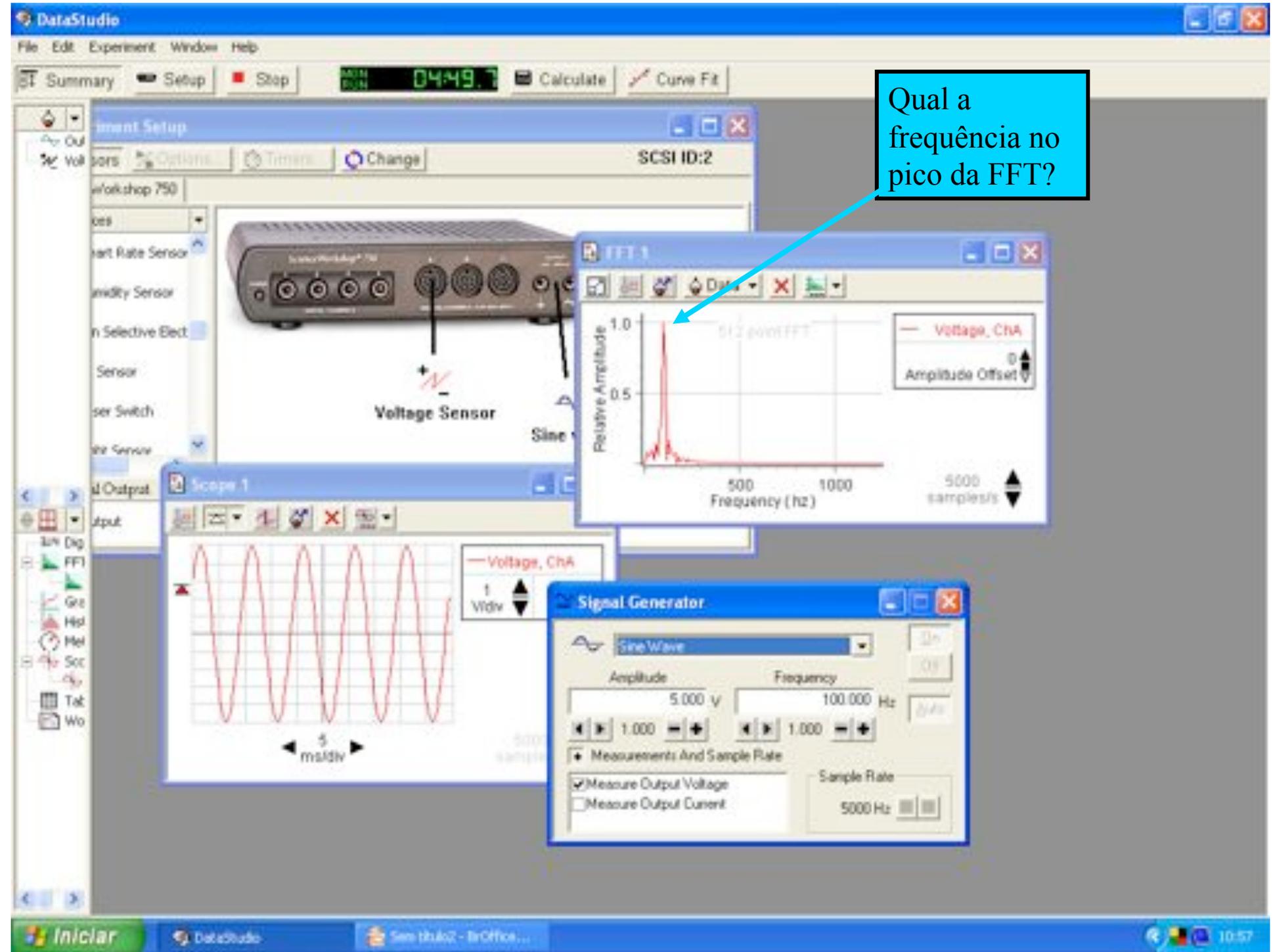
Se quiser, desloque o Trigger para estabilizar a imagem.



The screenshot displays the DataStudio software interface. At the top, the menu bar includes File, Edit, Experiment, Window, Display, and Help. Below the menu bar, there are buttons for Summary, Setup, Stop, a digital display showing 02:23.4, Calculate, and Curve Fit. The main workspace is divided into several panels:

- Data Panel:** Lists 'Output Voltage (V)' and 'Voltage, ChA (V)'.
- Experiment Setup Panel:** Contains a 'Sensors' list on the left with items like Heart Rate Sensor, Humidity Sensor, Ion Selective Elect., IR Sensor, Laser Switch, Light Sensor, and Summed Output. The main area shows a Science Workshop 750 interface with a 'Voltage Sensor' and a 'Sine wave' connected to the device's ports.
- Displays Panel:** Lists various display types: 3 1/2 Digits, Graph, Histogram, Meter, Scope, Scope 1, Table, and Workbook. A blue box highlights the 'FFT' option in the Graph list.
- Scope 1 Panel:** Shows a red sine wave on a grid. A legend indicates 'Voltage, ChA' with a vertical scale of 1 V/div and an offset of 0.
- Signal Generator Panel:** Shows settings for a sine wave, including a frequency of 100,000 Hz and a sample rate of 5000 Hz.

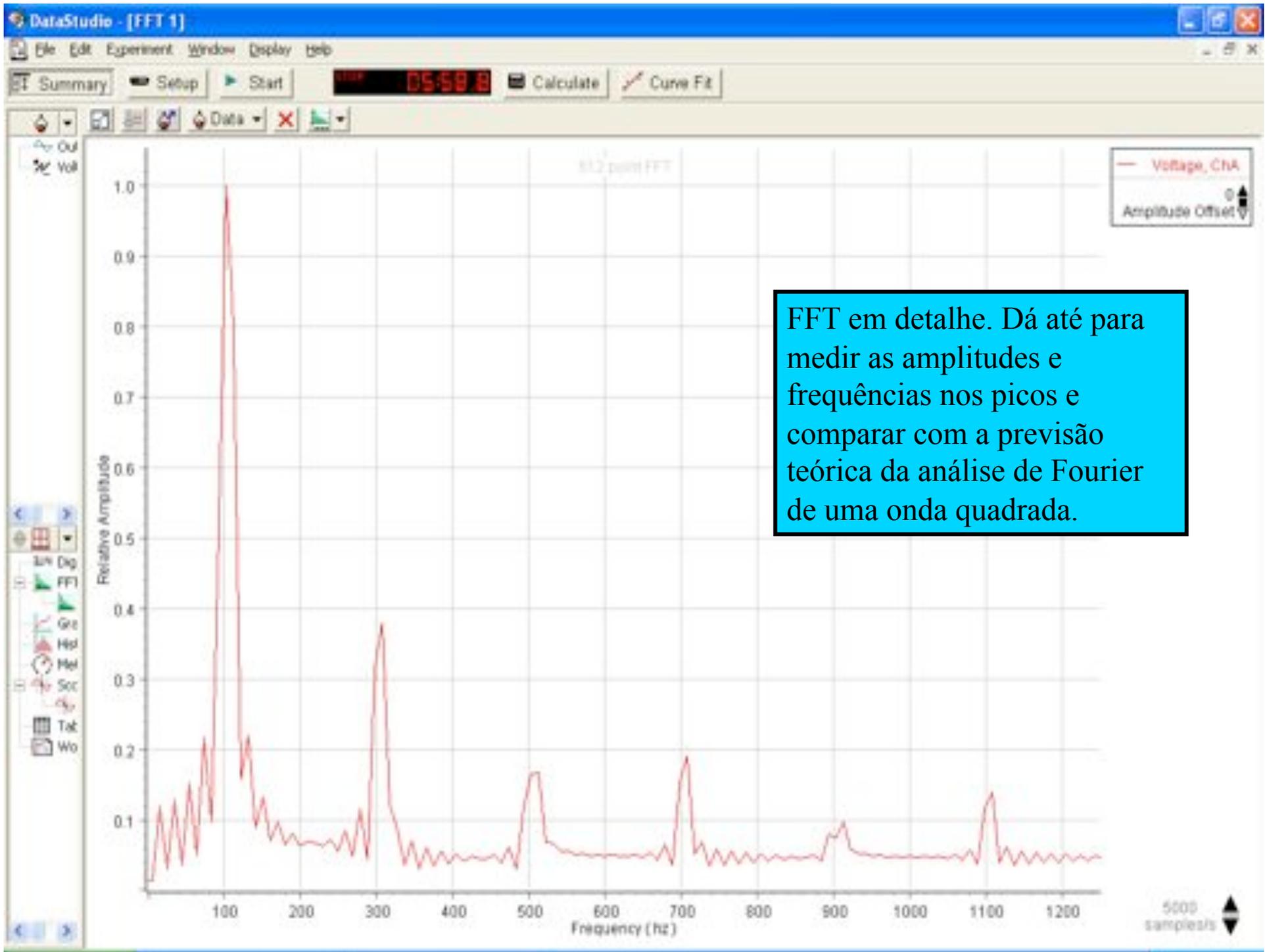
A blue callout box with a black border contains the text: "Arraste o FFT até o sensor de voltagem." (Drag the FFT to the voltage sensor).



Qual a frequência no pico da FFT?

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

The screenshot displays the DataStudio software interface. At the top, there is a menu bar (File, Edit, Experiment, Window, Help) and a toolbar with buttons for Summary, Setup, Stop, Calculate, and Curve Fit. A digital display shows '05:18.8'. The main workspace contains several components: a 'Signal Generator' window set to 'Square Wave' with an amplitude of 5.000 V and a frequency of 100.000 Hz; a 'Scope 1' window showing a square wave with a 5 ms/div time scale; and an 'FFT 1' window showing the frequency spectrum of the square wave. The FFT plot has a y-axis for 'Relative Amplitude' (0 to 1.0) and an x-axis for 'Frequency (hz)' (0 to 1000). The signal generator also has checkboxes for 'Measure Output Voltage' (checked) and 'Measure Output Current' (unchecked), and a 'Sample Rate' of 5000 Hz. The bottom taskbar shows the Windows Start button, the DataStudio application, and the system clock at 10:50.



FFT em detalhe. Dá até para medir as amplitudes e frequências nos picos e comparar com a previsão teórica da análise de Fourier de uma onda quadrada.

Analisando um circuito RC com a interface 750

Sensor

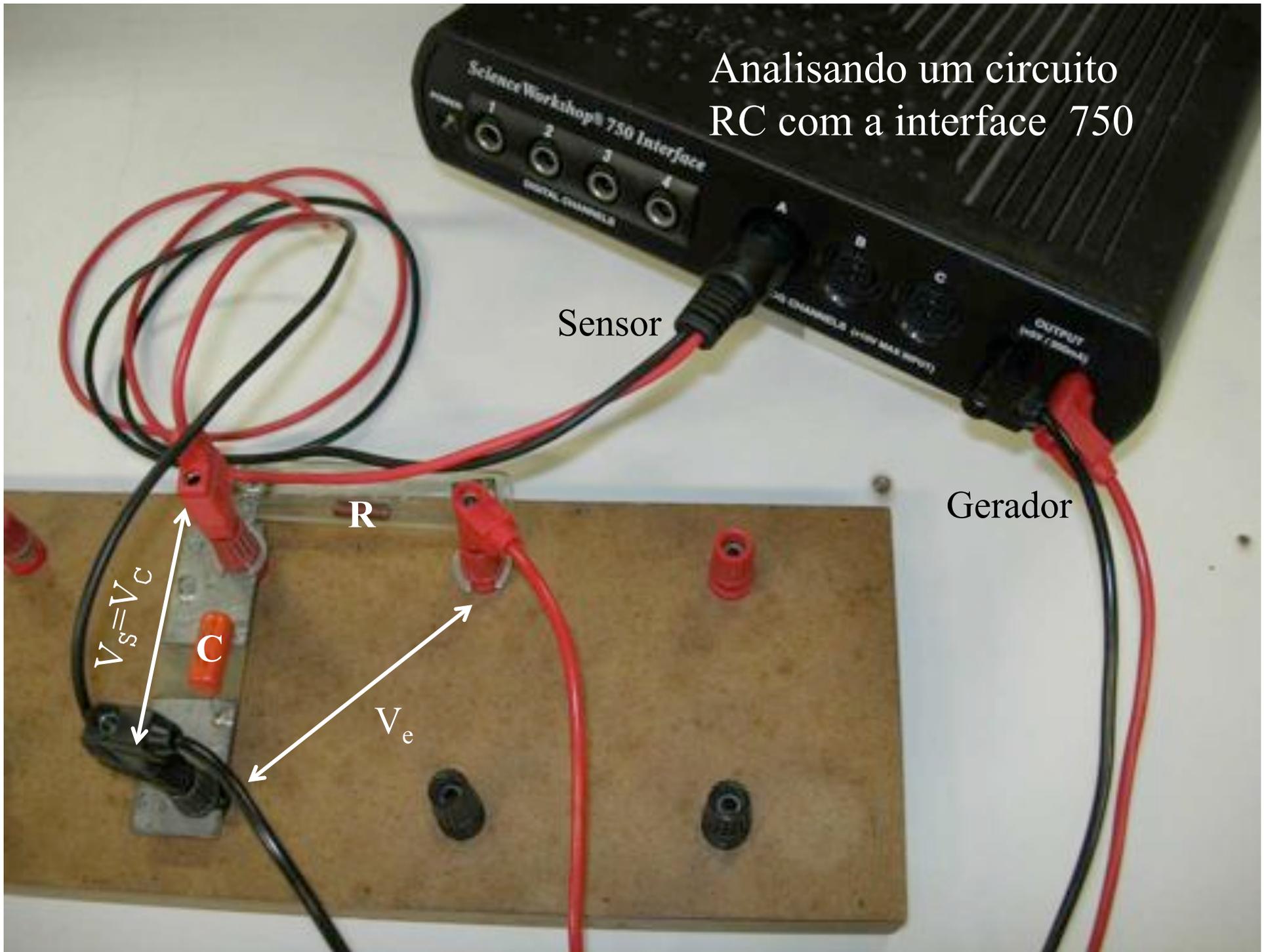
Gerador

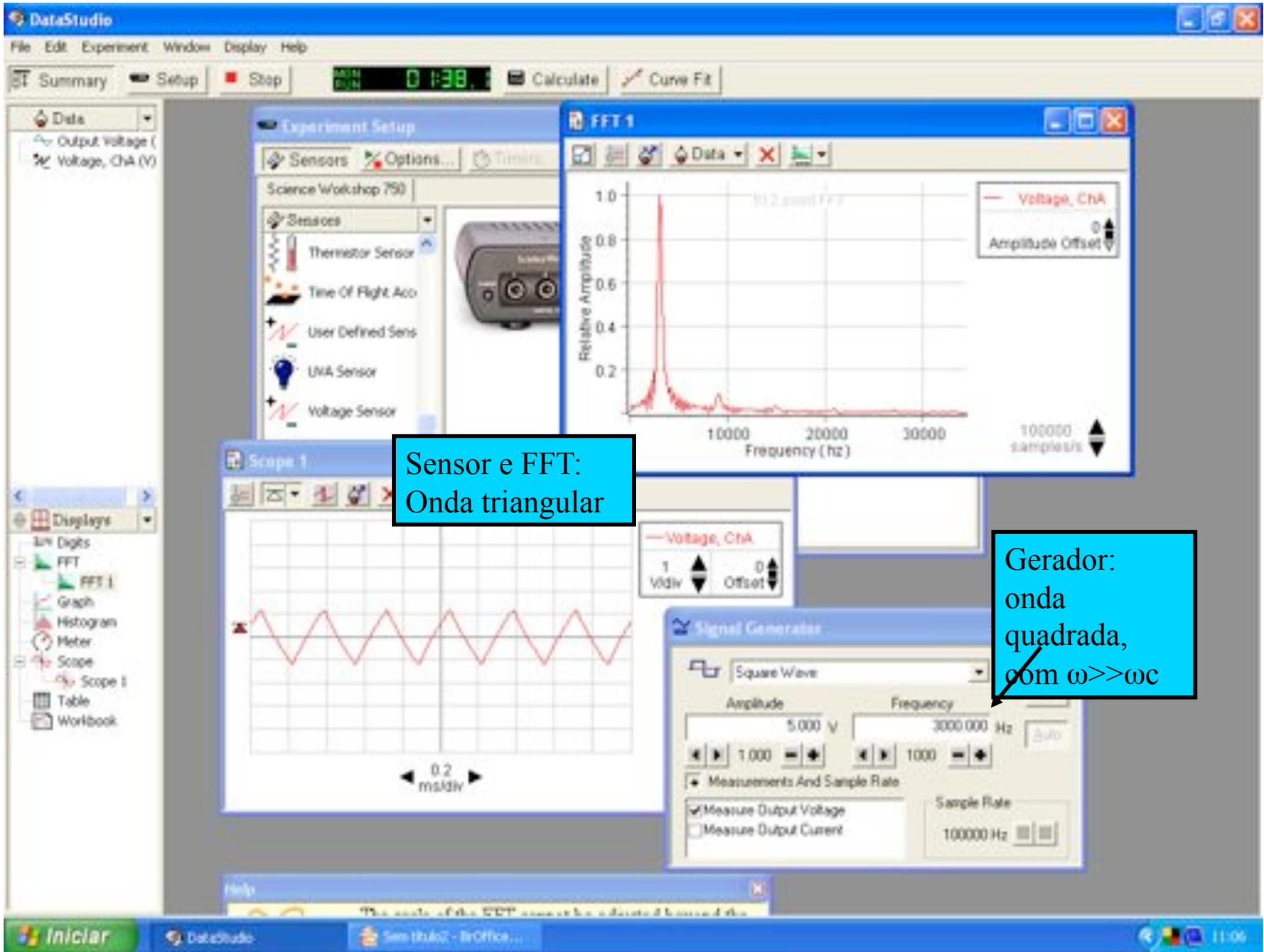
$V_s = V_c$

R

$V_e$

C





## ATIVIDADES DA SEMANA

---

- Continuar o que ficou de lado...
- Obter a FFT de uma onda senoidal, quadrada e triangular.
  - Usar fonte e FFT do DataStudio. Não usar gerador!
  - Obter as amplitudes das frequências que compõem o sinal e comparar quantitativamente com previsão teórica
  - Gráfico de  $A_f \times f$
- Filtro RC
  - Usando uma onda quadrada como tensão de entrada de baixa frequência.
    - Fonte e FFT do DataStudio.
    - Com as duas FFT (entrada e capacitor) obter a curva de ganho do circuito RC e comparar com previsão teórica
    - DICA: Para uma boa curva, escolha a frequência da onda quadrada como sendo  $\sim 1/3$  de  $f_c$ . Explique porque no relatório.
    - Gráfico de  $G \times f$ , comparando com dados anteriores e teoria.
  - Usando uma onda quadrada de alta frequência (limite do circuito integrador), obter a FFT da tensão no capacitor e verificar a compatibilidade com a FFT de uma onda triangular
    - Gráfico da FFT com previsão teórica.