

MEDIÇÕES ELÉTRICAS E RUÍDO EM ENSAIOS EXPERIMENTAIS

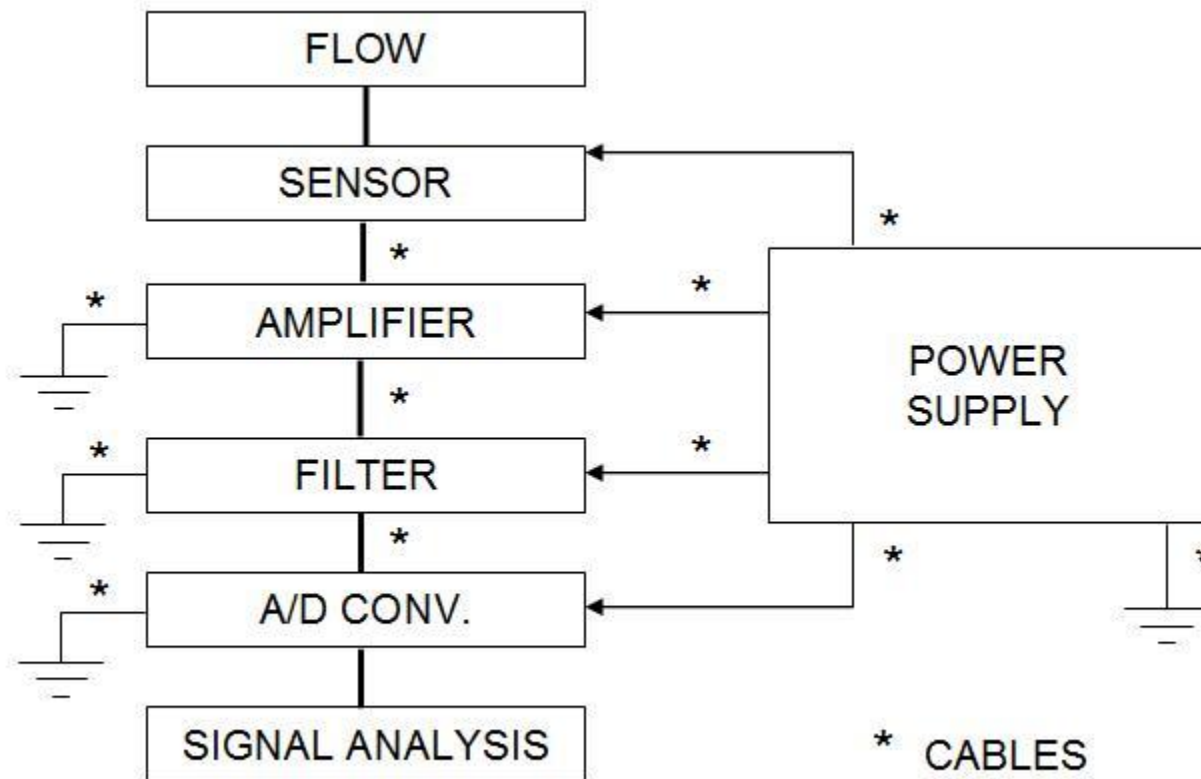
- **Introdução / Motivação**
- **Principais fontes de ruído em montagens experimentais;**
- **Métodos simples para a redução de ruído;**
- **Exemplos de implementação;**
- **Calibração de sensores;**

Ruído e interferência: podem ocorrer em quase todas as aplicações de engenharia onde existe transmissão de informações



Redução de ruído em experimentos:

- Reduz o tempo total das campanhas de testes (tempo para ajustar os parâmetros e aquisição de dados);
- Reduz o esforço no processamento dos dados;
- Permite investigar fenômenos que envolvem flutuações de baixíssima amplitude. Ex. Transição do escoamento laminar para turbulento, aeroacústica;
- É importante gastar algum tempo antes dos experimentos procurando por fontes de ruído no aparato.



Contribuição em mais de um estágio:

- Fonte de alimentação, aterramento e cabos

- Perturbações atmosféricas (tempestades);
- Radiação de emissoras de rádio e TV;
- Ruídos parasitas gerados por interruptores, lâmpadas fluorescentes, etc...;
- Campos ruído de alimentação de equipamentos produzidos pela rede de distribuição de energia elétrica;
- Campos magnéticos de fuga originários de transformadores, motores, etc..., que induzem sinais parasitas nos circuitos de medição;
- A escolha da blindagem mais adequada depende da sensibilidade do sistema de medida;
- O uso de blindagem eletrostática é uma das técnicas mais comuns. Entretanto, cuidados devem ser tomados para que a introdução destes no circuito não provoque erros ainda maiores;

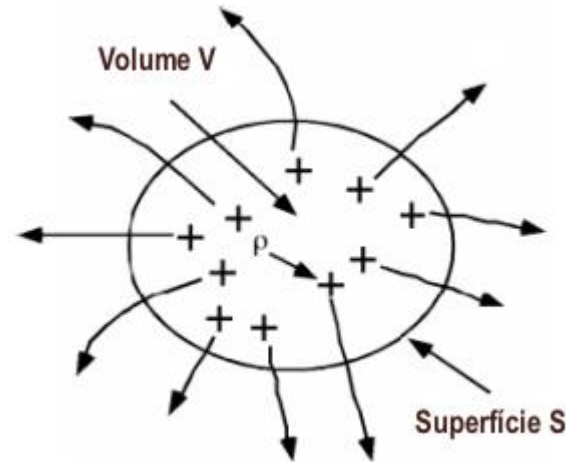
- Campo Elétrico

De acordo com a lei de Gauss:

“O fluxo elétrico através de uma superfície fechada é proporcional a carga elétrica no interior dessa superfície”

$$q = \varepsilon_0 \Phi_E$$

Onde q é a carga, Φ é o fluxo e ε uma constante de permissividade do meio



O fluxo elétrico é uma medida do campo elétrico que atravessa uma superfície: $\Phi_E = \oint E \cdot ds$

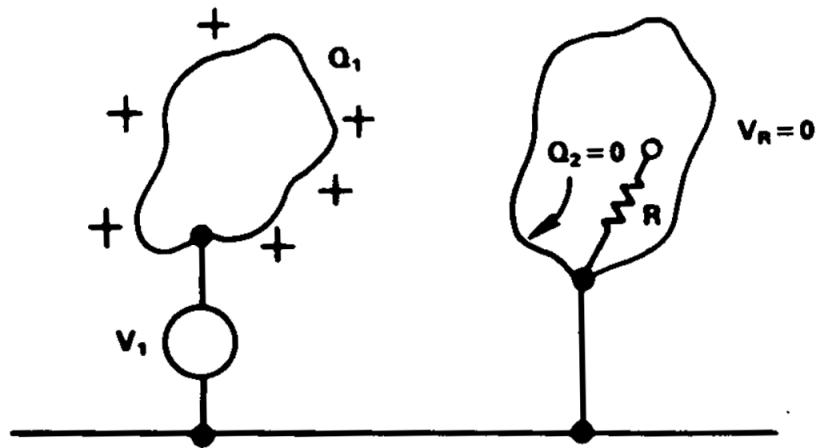
Logo: $q = \varepsilon_0 \oint E \cdot ds$

MENSAGEM: DEPENDE DA CARGA!! (VOLTAGEM)

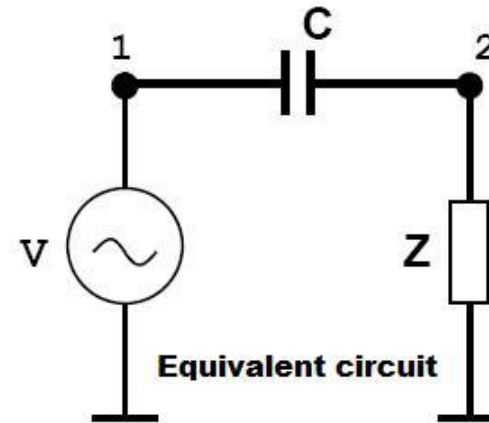
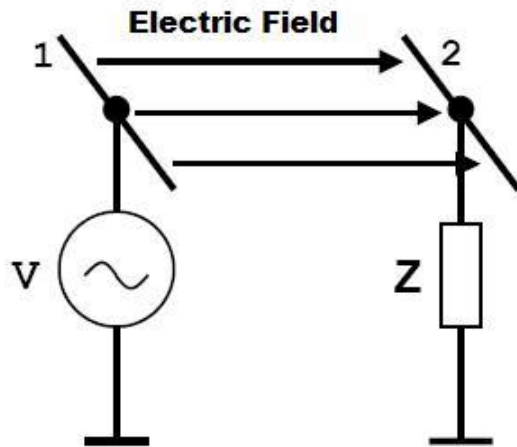
- Campo Elétrico

Gaiola de Faraday:

-O campo elétrico externo a uma casca metálica não é capaz de criar cargas no interior casca.



Interferência Capacitiva

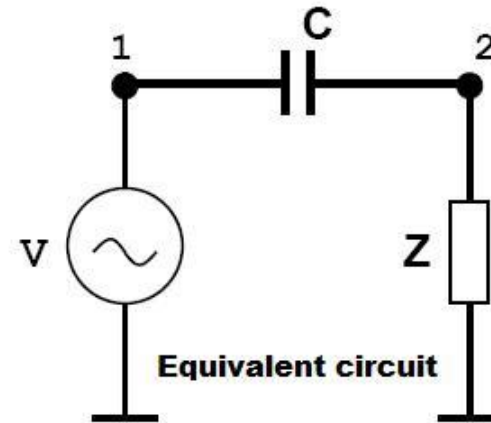
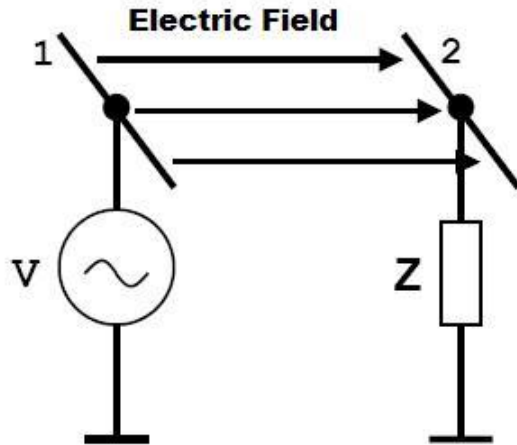


Equação do capacitor.
$$C \frac{dV}{dt} = i$$

Logo, se $dV/dt=0$ então $i=0$. Assim, não há corrente no sistema para sinais invariantes no tempo.

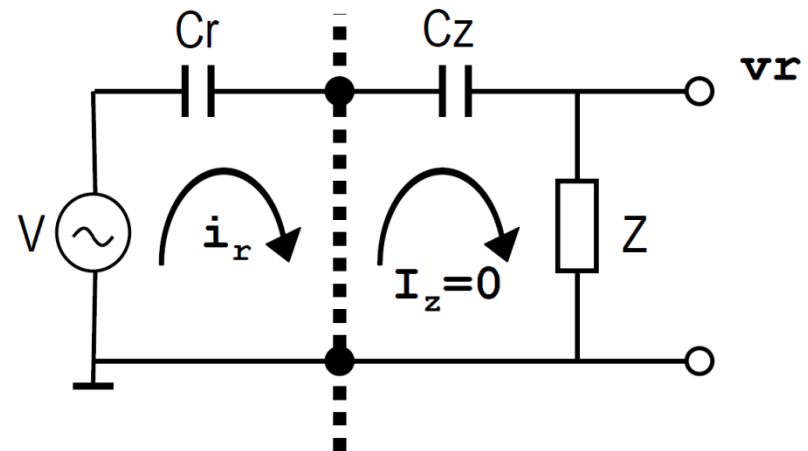
A medida que se eleva a frequência do sinal V (oscilações mais rápidas), dV/dt cresce a corrente transmitida a Z também aumenta.

Interferência Capacitiva

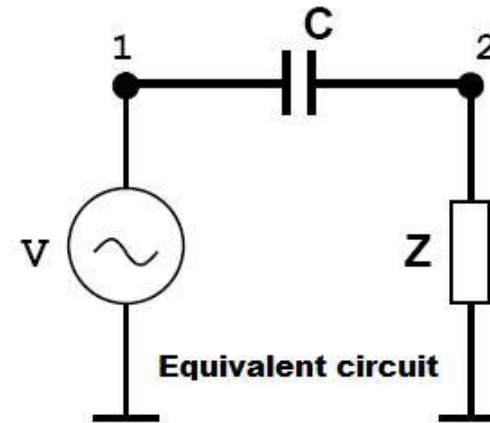
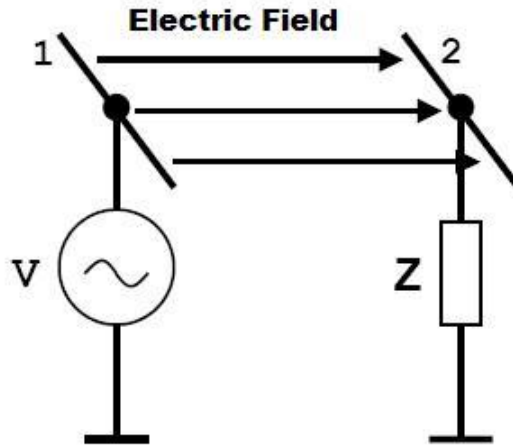


Como reduzir?

Acrescentar caminhos de baixa impedância que o sinal de interferência não contamine o circuito de medição.

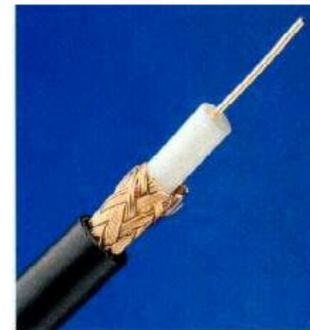
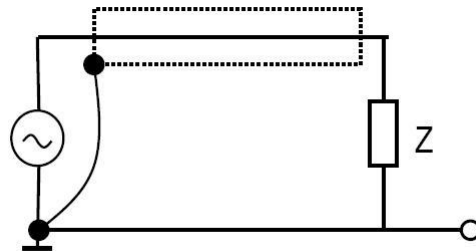


Interferência Capacitiva

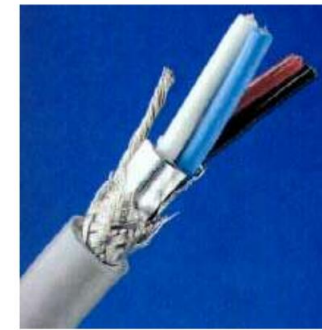


Como reduzir?

Cabos coaxiais: Com aterramento em 1 ponto

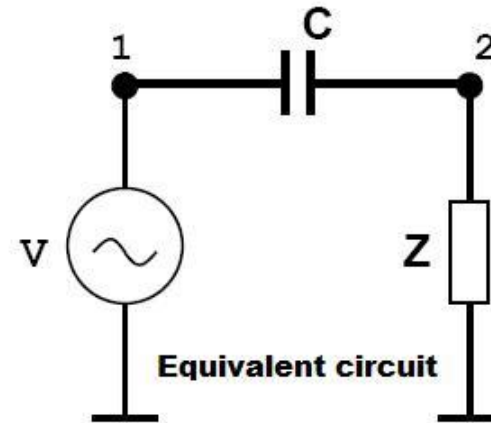
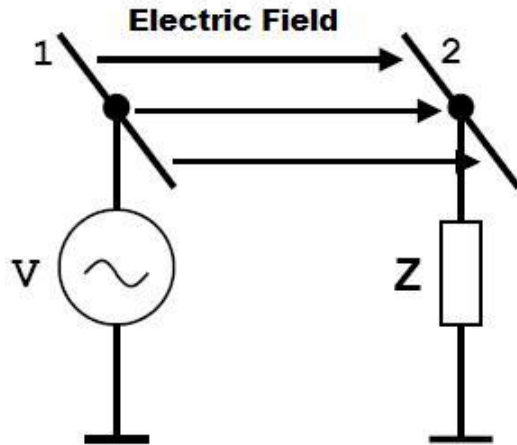


Cabo Coaxial Fino



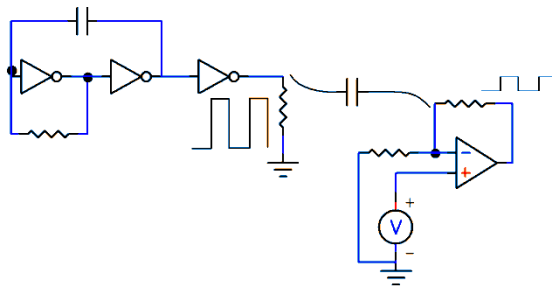
Cabo Coaxial Grosso

Interferência Capacitiva

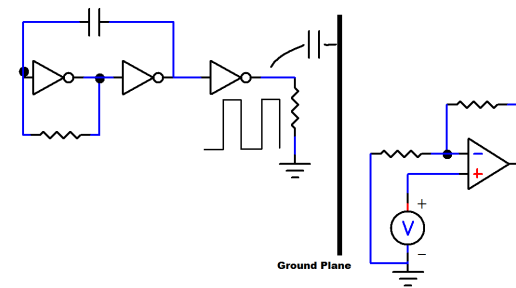


Como reduzir?

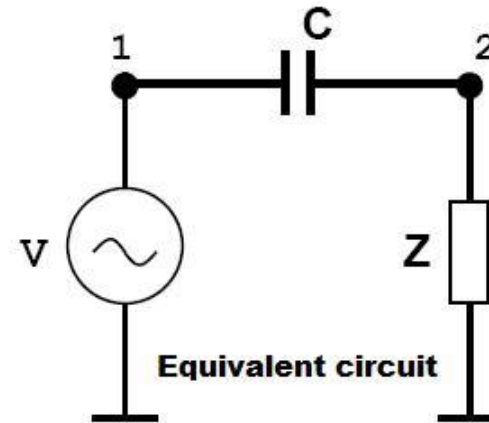
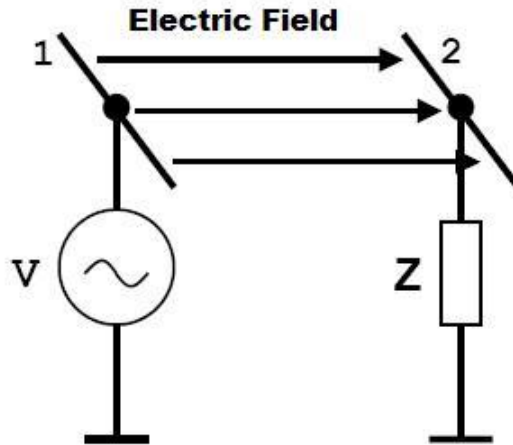
Circuitos



Circuitos

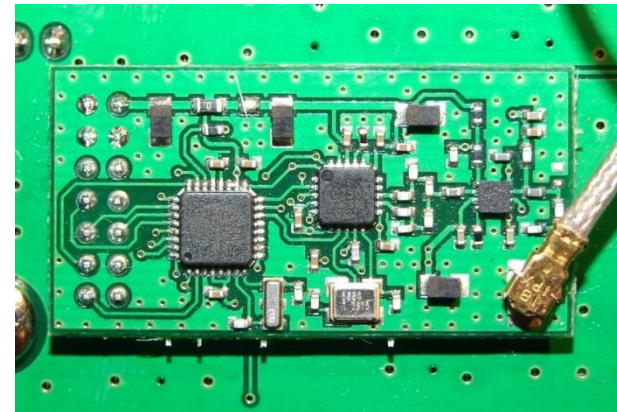
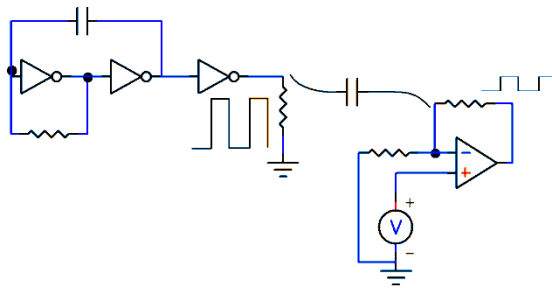


Interferência Capacitiva

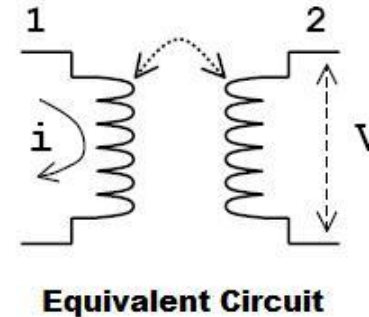
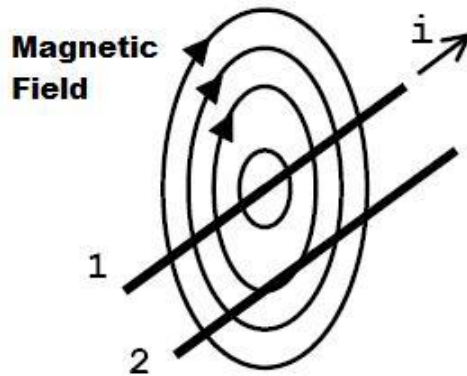


Como reduzir?

Circuitos



Interferência Indutiva



Equação do circuito: $V = M \frac{di}{dt}$

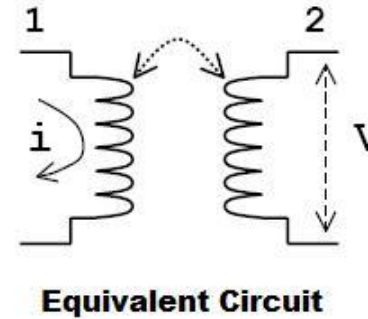
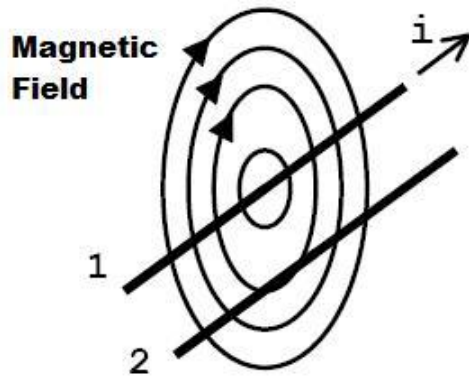
MENSAGEM: DEPENDE DA CORRENTE!!

onde M é a indutância mútua, que depende da forma do circuito e da distância entre eles.

Logo, se $di/dt=0$ então $V=0$. Assim, não há tensão induzida para correntes invariantes no tempo.

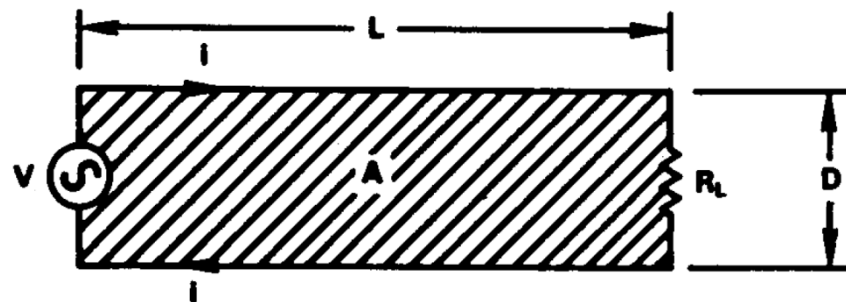
A medida que di/dt cresce a tensão transmitida também aumenta.

Interferência Indutiva

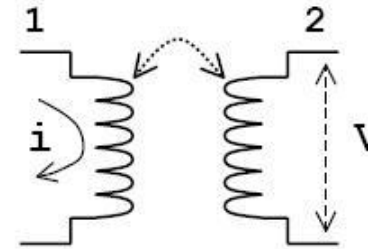
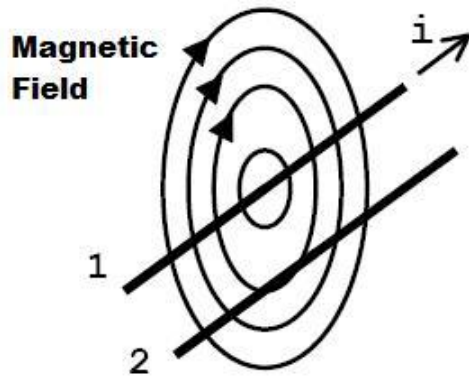


Esse tipo de acoplamento é difícil de reduzir

Uma das formas de se reduzir esse acoplamento consiste em diminuir a área de loop de corrente (redução na emissão)



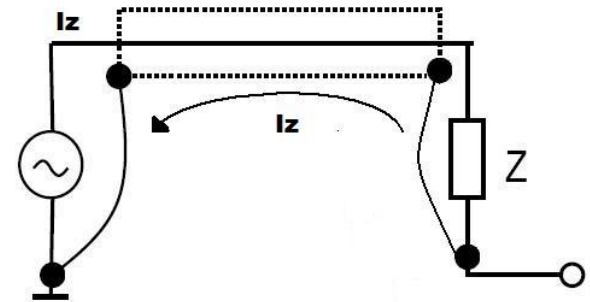
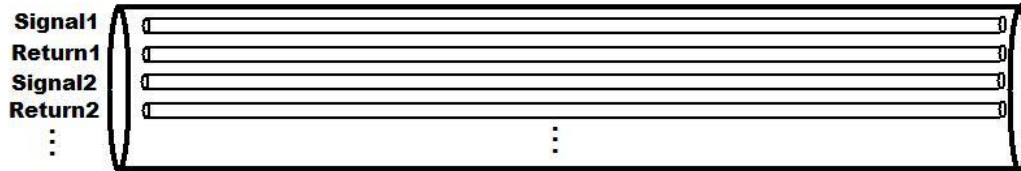
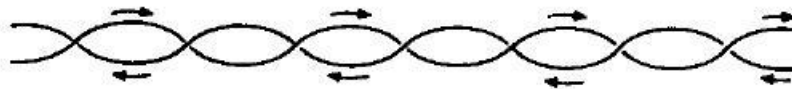
Interferência Indutiva



Equivalent Circuit

Como reduzir?

Cabos:



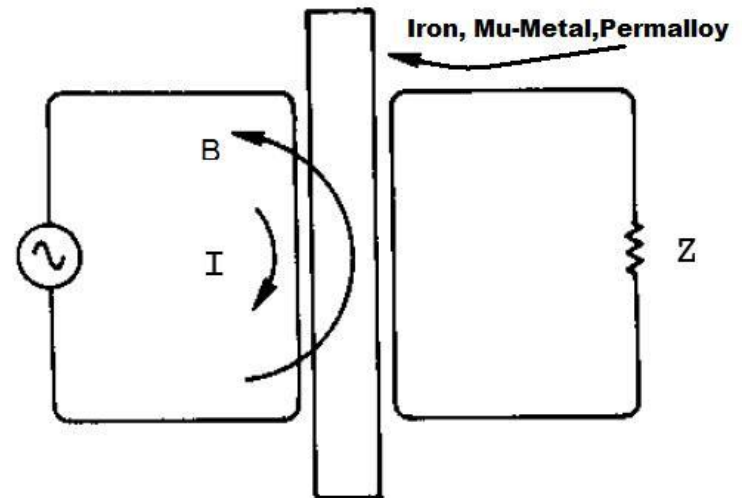
Interferência Indutiva

Como reduzir?

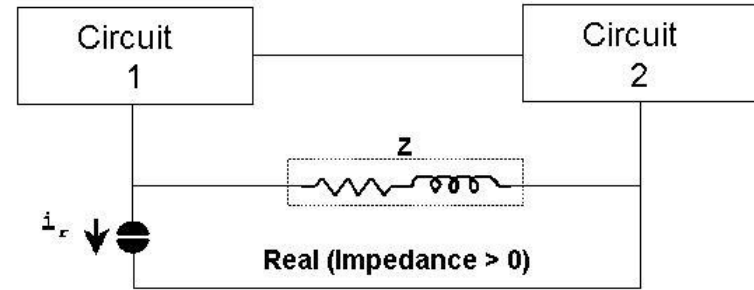
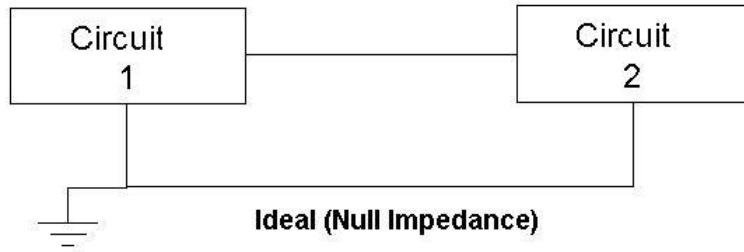
Uma outra forma, normalmente mais cara, é a blindagem utilizando caixas metálicas para os circuitos. Aço, Mu-Metal são as mais utilizadas

Penetração do campo magnético em alguns materiais usados em blindagens

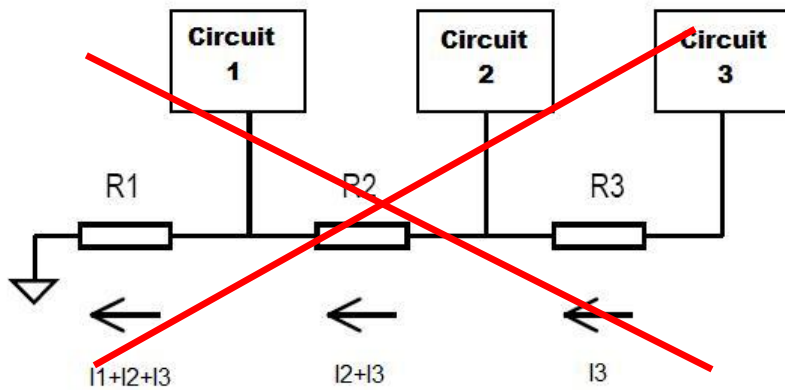
Freq[Hz]	Cobre[mm]	Alumínio[mm]	Aço[mm]
60	8,5	10,9	0,86
100	6,6	8,5	0,66
1K	2,1	2,7	0,2
10K	0,66	0,84	0,08
100K	0,2	0,3	0,02
1M	0,08	0,08	0,008



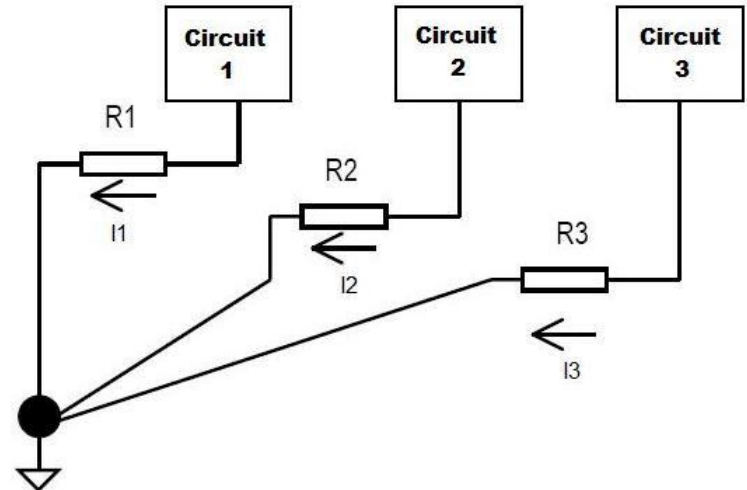
Loop de terra



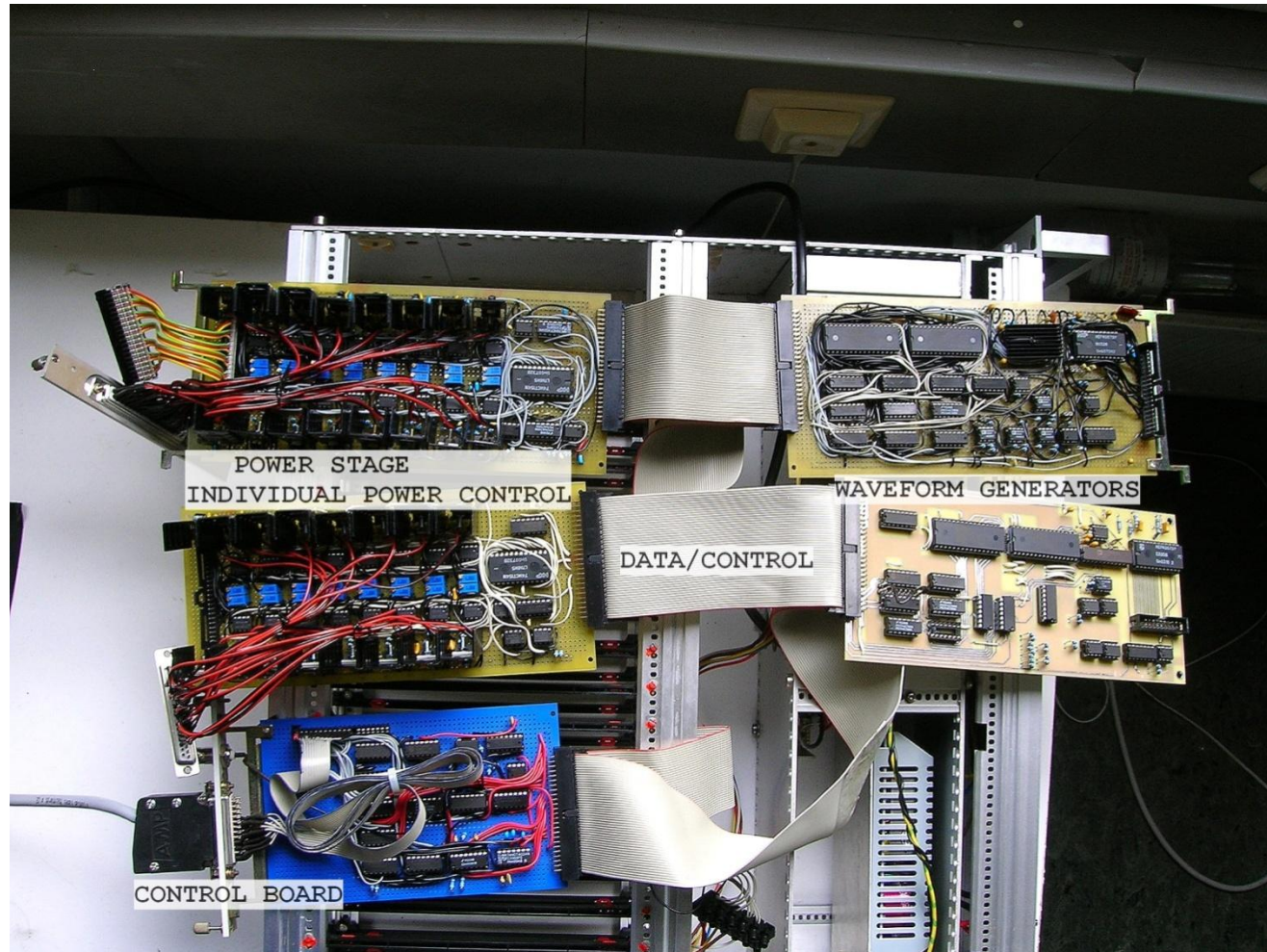
Erro comum

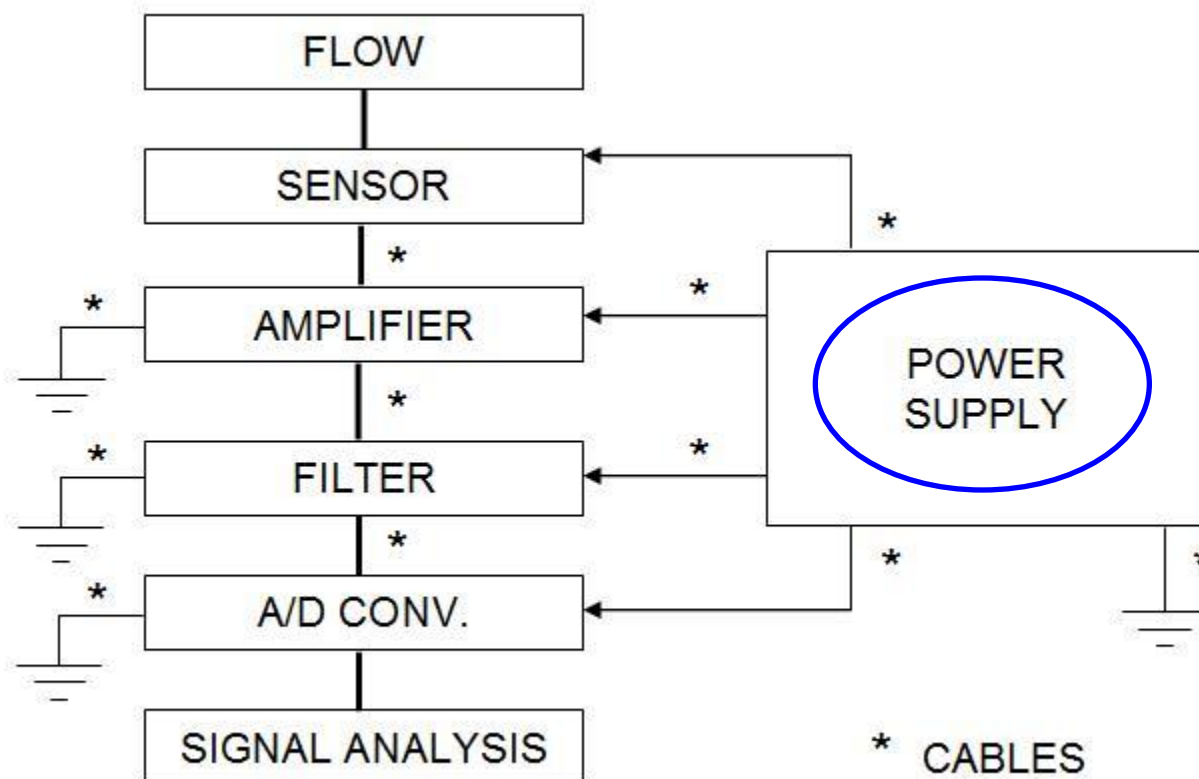


Conexão correta



Aplicação dos conceitos: Circuito de um gerador de funções de 128canais





Contribuição em mais de um estágio:

- **Fonte de alimentação**, aterramento e cabos

Tipos de fonte de alimentação:

- **Não Regulada**: Possui somente um retificador seguido de capacitores e indutores para suavizar as flutuações do sinal. Não há regulação da voltagem de saída, de modo que ela pode variar de acordo com a carga demandada. A oscilação do sinal também é maior quando a demanda de carga é mais elevada.
- **Regulada**: : Usa transistores para a regulação da voltagem a uma tensão de referência. Assim, a voltagem não varia com a carga demandada. Esse tipo de fonte pode ser subdividido em:
 - Fontes reguladas lineares
 - Fontes reguladas por chaveamento (ou simplesmente fontes chaveadas)



Tipos de fonte de alimentação:

- **Fontes reguladas lineares:** Nas fontes lineares a tensão é controlada por um regulador analógico baseado em um transistor operando em regime contínuo.
- **Fontes chaveadas:** Nas fontes chaveadas sinal é ligado e desligado em uma frequência alta (10kHz-1MHz) e o duty cycle do sinal é variado para regular a voltagem dentro dos limites requeridos.

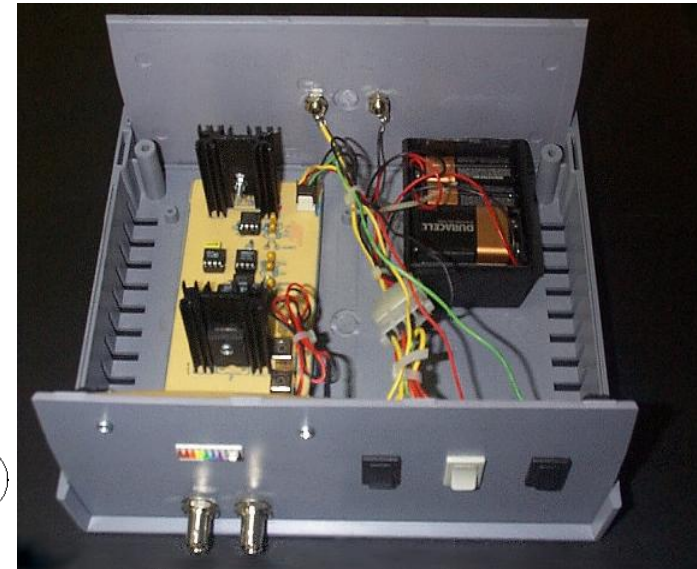
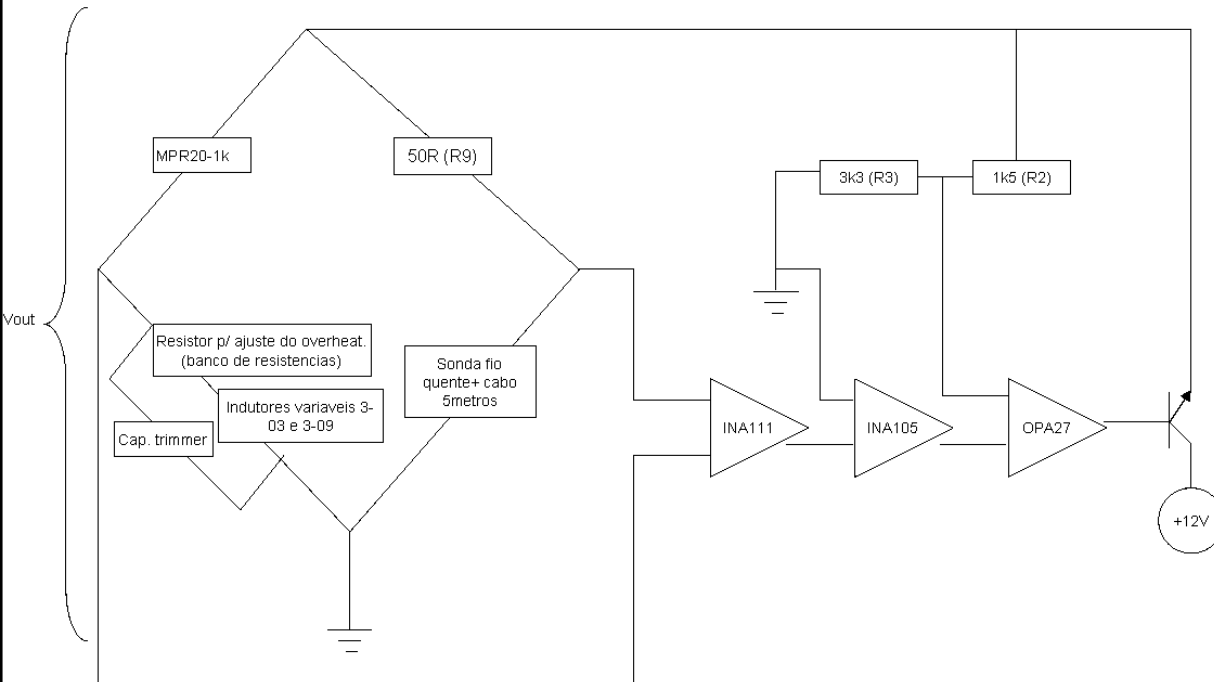


Tipos de fonte de alimentação:

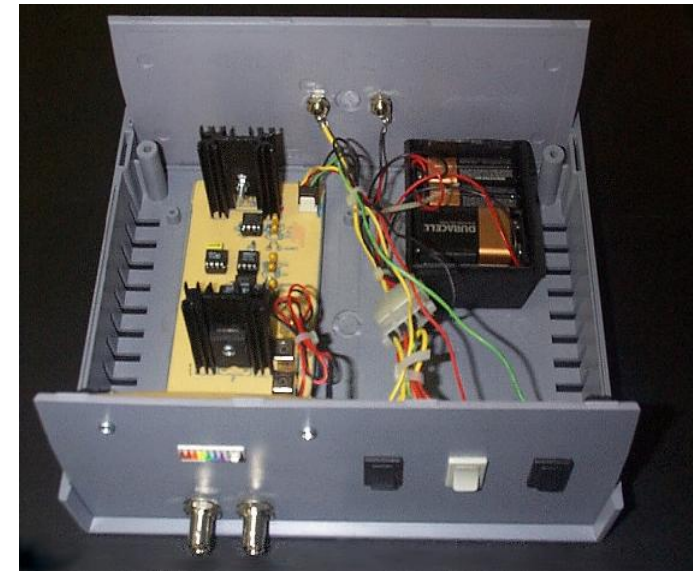
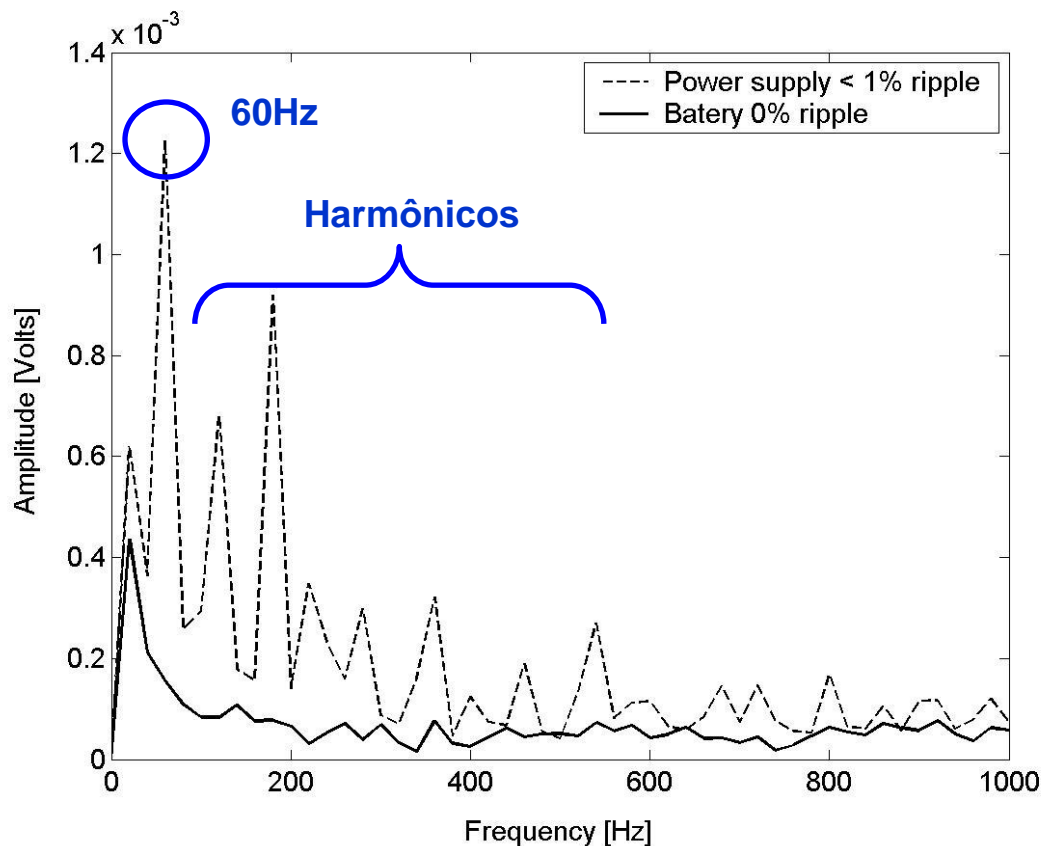
TIPO DE REGULADOR	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Fonte Regulada Linear	<ul style="list-style-type: none">• Baixo nível de ruído• Construção simples	<ul style="list-style-type: none">• Baixa eficiência• Alto fluxo de calor dissipado• Tamanho
Fonte chaveada	<ul style="list-style-type: none">• Altamente eficiente• Pode ser bem compacta• Baixo fluxo de calor dissipado	<ul style="list-style-type: none">• Ripple e ruído podem ser maiores que em fonte linear• Emissão de campo magnético e elétrico deve ser levada em consideração, uma vez que chaveamento pode causar interferências nos circuitos próximos

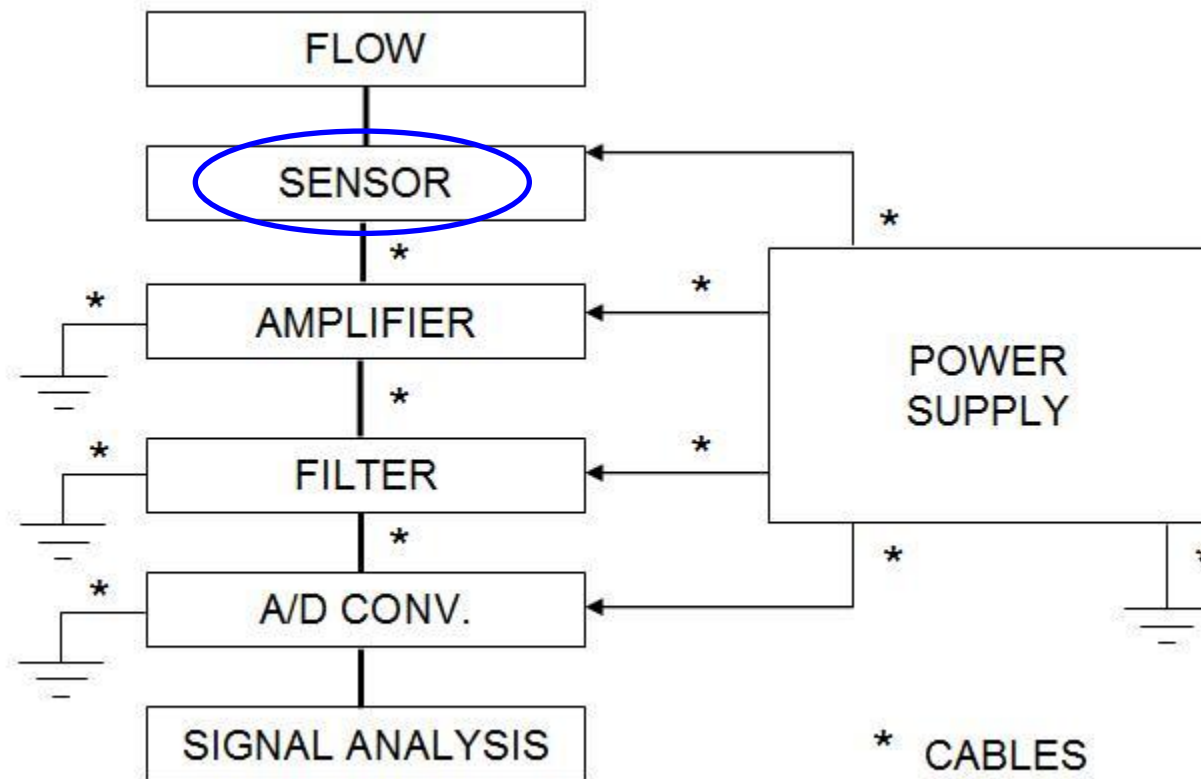
Instrumento testado: Anemômetro a fio quente. Usado para medição de velocidade em fluidos. (Será visto ao longo do curso)

Diagrama simplificado CTA



Instrumento testado: Anemômetro a fio quente. Usado para medição de velocidade em fluidos. (Será visto ao longo do curso)





- Operação que, sob determinadas condições, estabelece a relação entre as medições feitas com um instrumento em comparação com um padrão, acompanhada das incertezas associadas.

- As incertezas dos medidores padrões podem ser avaliadas antes da calibração. É prática comum na indústria exigir que a calibração desses instrumentos seja rastreável¹.
 1. *Propriedade do resultado de uma medição ou do valor de um padrão estar relacionado a referências estabelecidas, geralmente a padrões nacionais ou internacionais, através de um cadeia contínua de comparações, todas tendo incertezas estabelecidas*

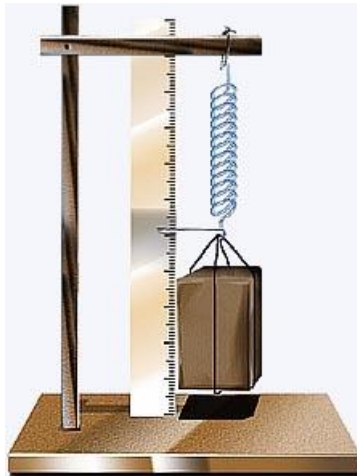
- De acordo com a incerteza requerida para a calibração é possível saber se os instrumentos e o processo de calibração proposto é adequado.

- Equações de calibração podem ser de diferentes ordens, lineares e não-lineares, dependendo do instrumento calibrado.

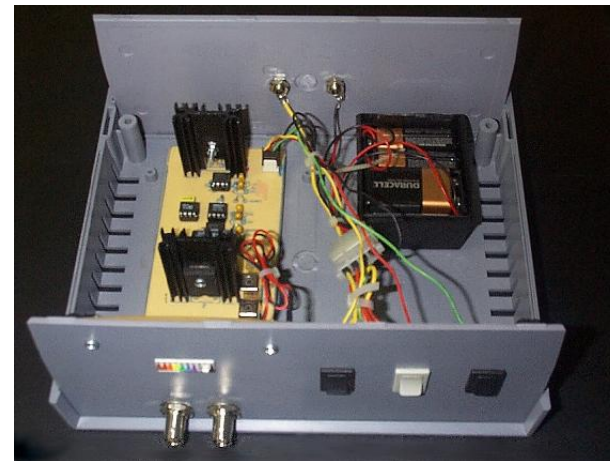
- **Ex.: Balança de mola**

Ex.: Anemômetro a fio quente

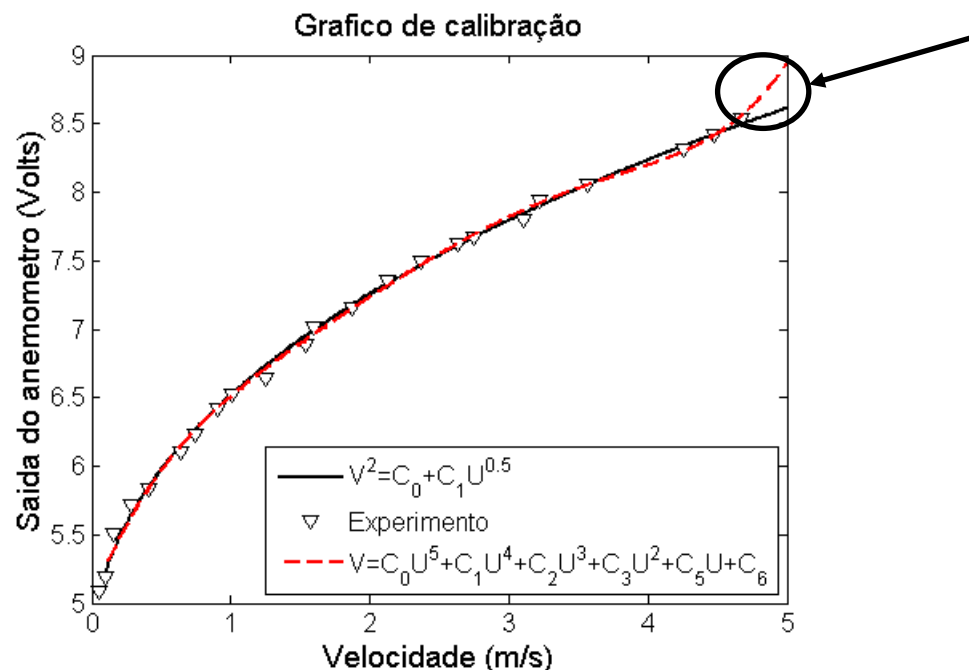
$$m = C\Delta x$$



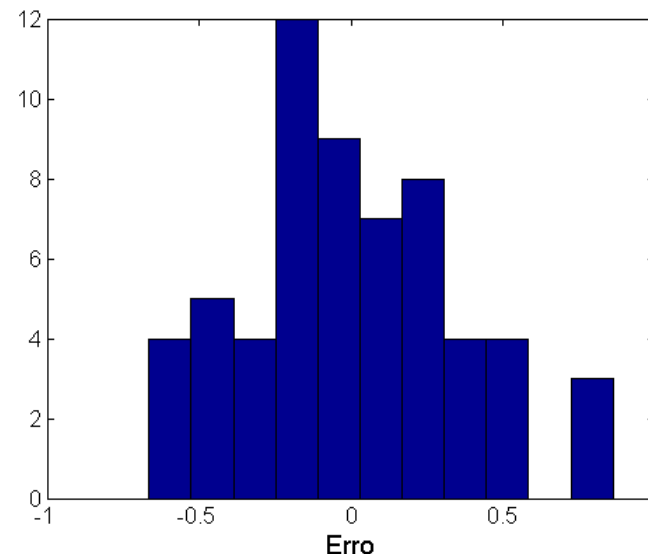
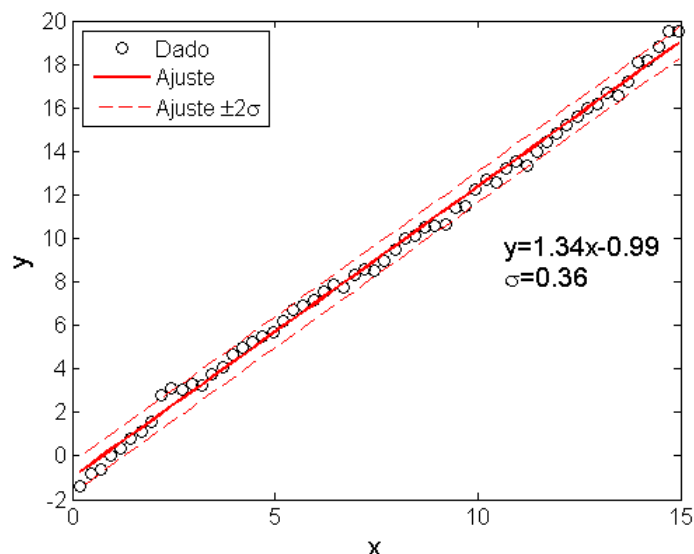
$$V^2 = C_0 + C_1U^{1/2}$$



- Na utilização de relações que não descrevem o comportamento físico do sistema, deve-se tomar bastante cuidado em medições além da faixa de calibração.
- **Ex.: Anemômetro a fio quente.** Calibração com função baseada na física do equipamento e resposta de polinômio de calibração

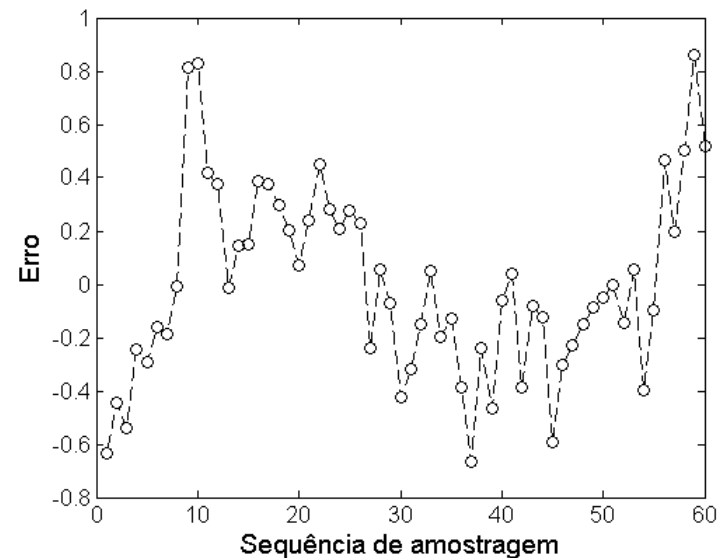
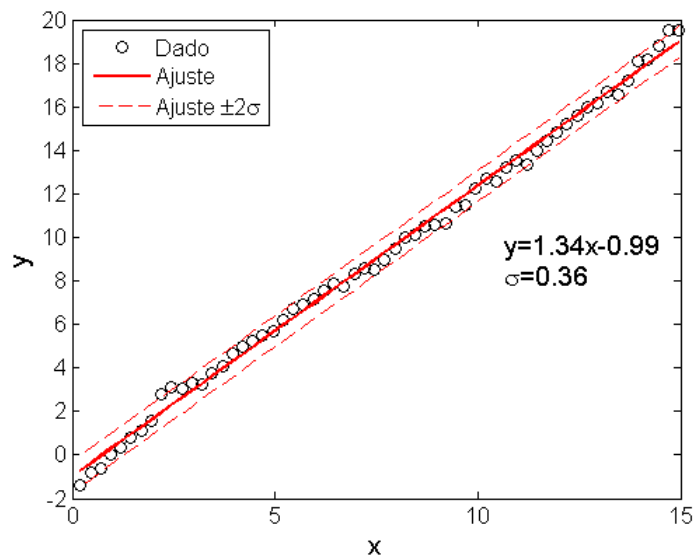


- Influência de parâmetros não controlados.
 - Ex.: $y(i) = 1.2 * x(i) + \text{ruído_aleatório}(i) + \text{ruído_determinístico}(i)$



- O erro padrão é baixo e a distribuição do erro lembra gaussiana (não é bem claro que é uma distribuição normal, precisa de teste estatístico).
- Se a função original não fosse conhecida a calibração poderia parecer Ok

- **Influência de parâmetros não controlados.**
 - **Ex.: $y(i) = 1.2 \cdot x(i) + \text{ruído_aleatório}(i) + \text{ruído_determinístico}(i)$**

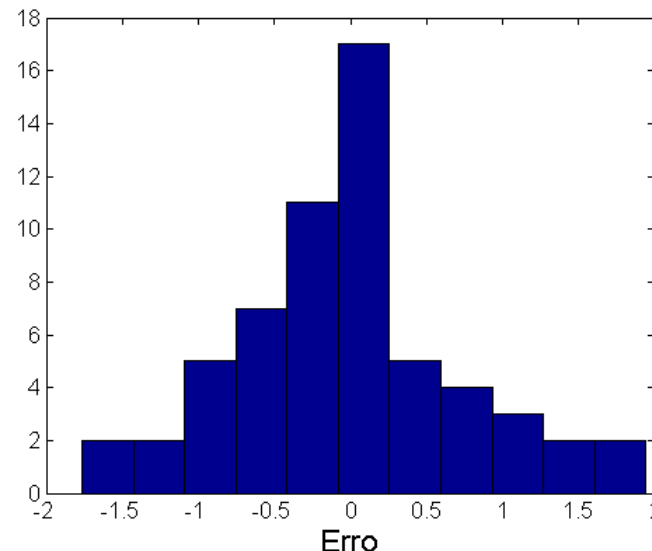
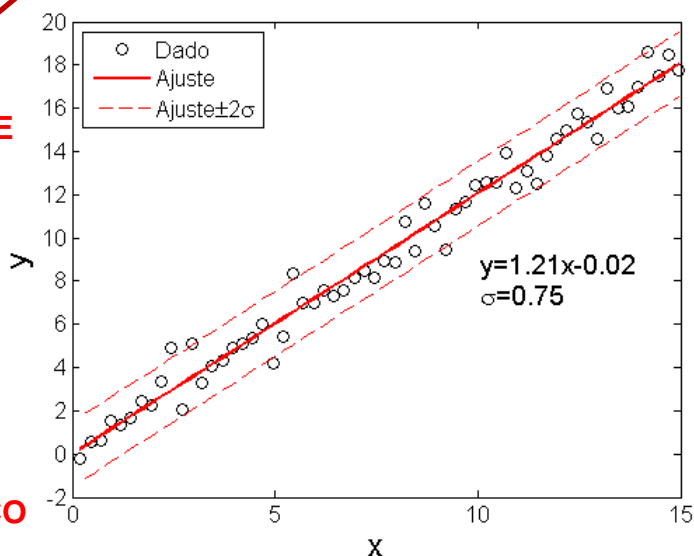


- Observando-se o comportamento do erro a partir da sequência de amostragem observa-se que uma flutuação do erro ao longo da calibração.
- Comportamento típico de casos onde fatores externos, não controlados, influenciam a calibração.

- Influência de parâmetros não controlados.

- **Ex.2:** $y(i) = 1.2 * x(i_{rand}) + \text{ruído_aleatório}(i_{rand}) + \text{ruído_determinístico}(i)$

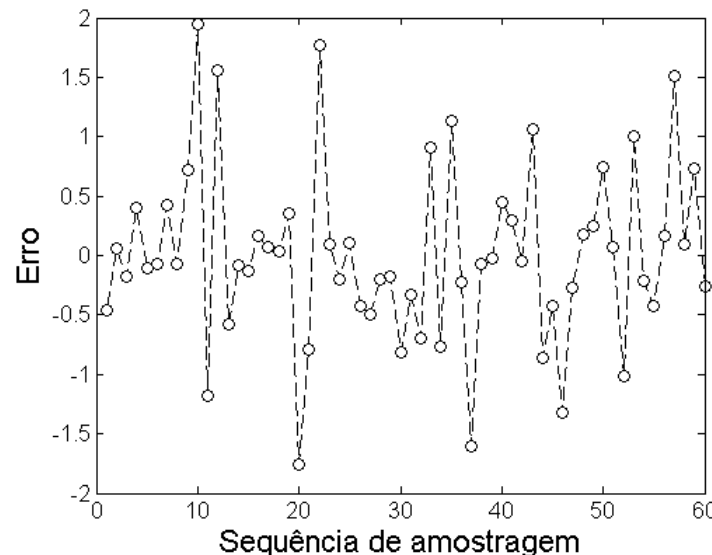
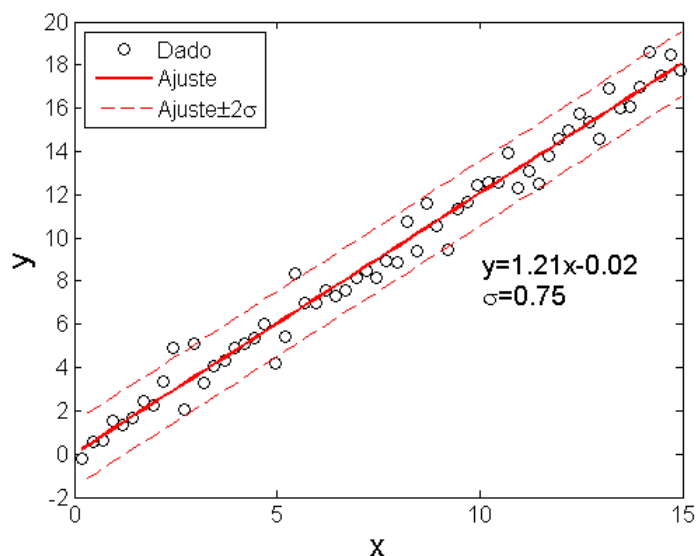
OS VALORES DE CADA TERMO SÃO OS MESMOS DO EXEMPLO ANTERIOR, SOMENTE A ORDEM EM RELAÇÃO AO RUÍDO DETERMINÍSTICO FOI ALTERADA



- Observa-se que o desvio dos dados é muito maior.
- O histograma dos erros fica com uma distribuição muito mais próxima da gaussiana.
- Os valores reais da função são ajustados sem nenhuma tendência (*bias*) aparente.

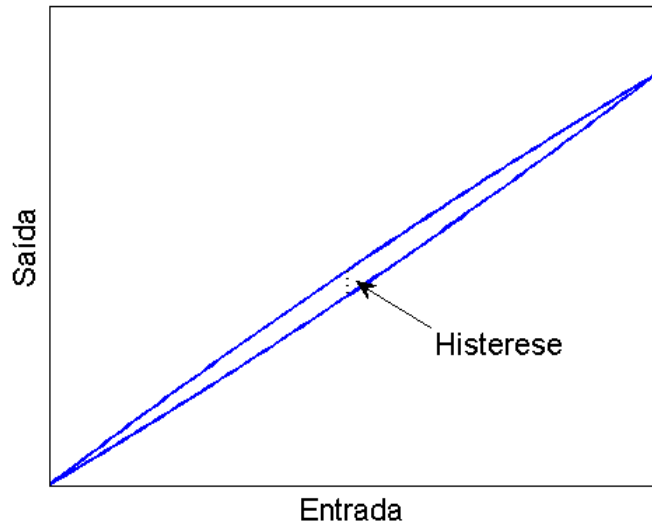
- Influência de parâmetros não controlados.

- **Ex.2:** $y(i) = 1.2 * x(i_{rand}) + \text{ruído_aleatório}(i_{rand}) + \text{ruído_determinístico}(i)$

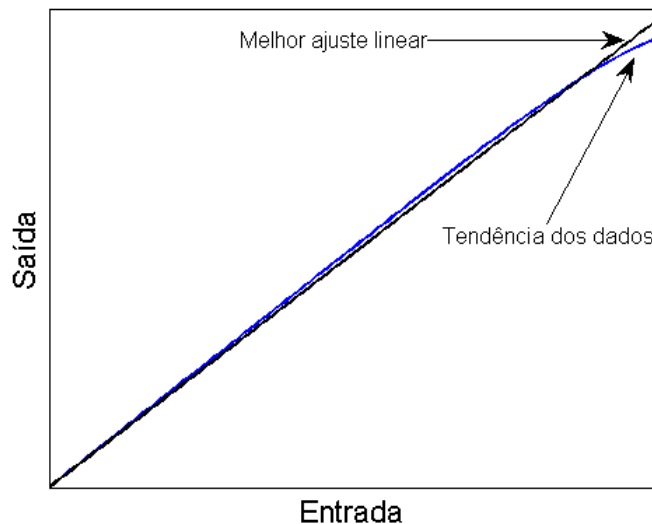


- A distribuição de erros não apresenta nenhuma tendência ao longo da sequência de amostragem.
- **MENSAGEM:** Se não estiver seguro de que todas as variáveis importantes para a calibração estão bem controladas, o mais prudente é realizar a amostragem aleatória.

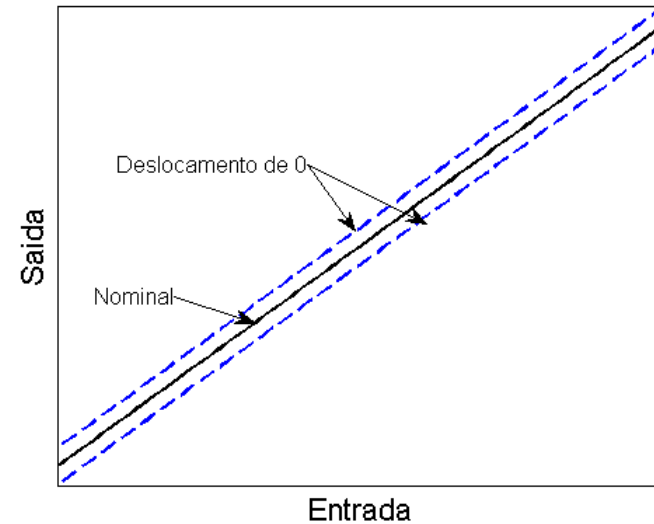
- Histerese



Linearidade



- deslocamento de 0



- A amostragem aleatória dilui o efeito da histerese na calibração (aumenta o desvio)
- Normalmente o deslocamento de zero pode ser corrigido antes das medições

Example: Hot-wire anemometer

Device used for calibration:

Rotational Arm;

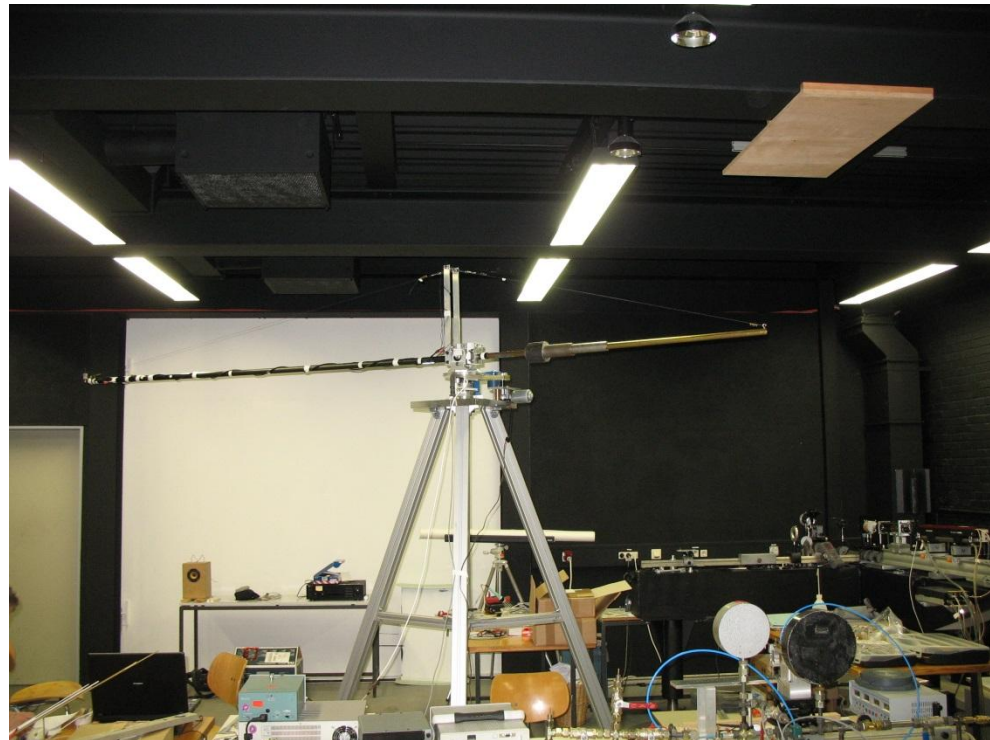
Radius: 2.7m;

Maximum speed: 8m/s;

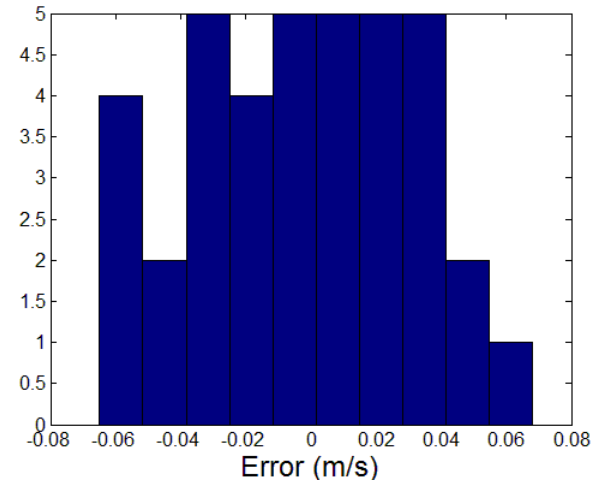
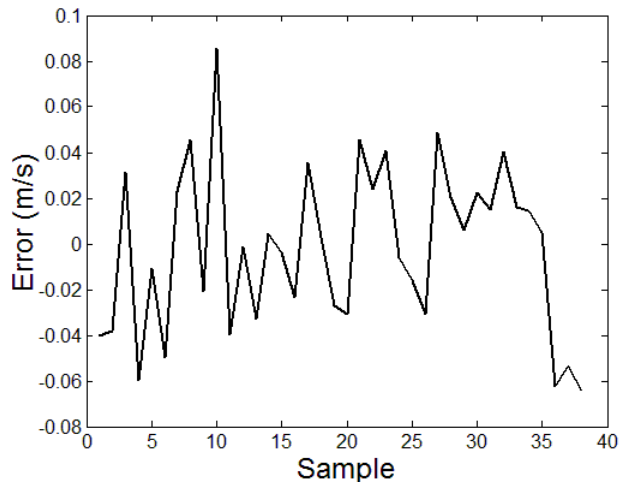
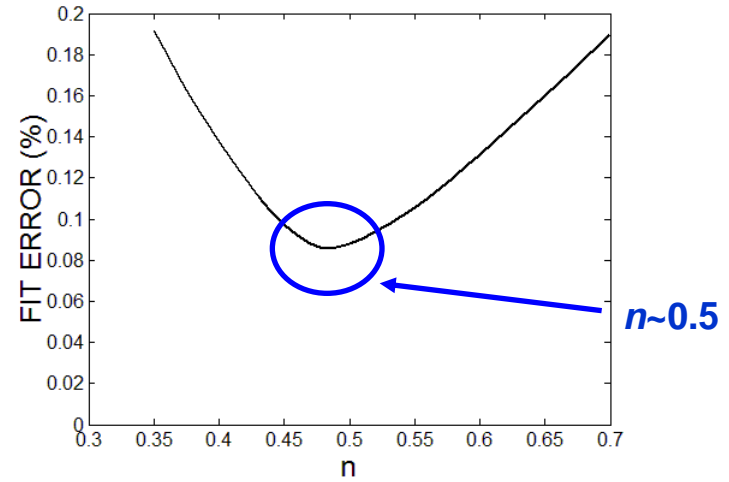
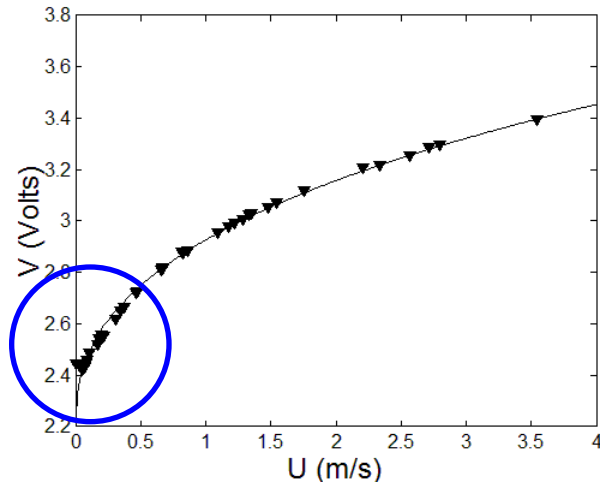
Minimum speed: 0.1m/s*;

Accurate reference
velocity given by
encoder pulses

*minimum that could be
measured with H-W in
this test



- Example: Hot-wire anemometer (King's Law: $E^2=AU^n+B$)



- Equipment tested: Small wind tunnel facility at EESC-USP.



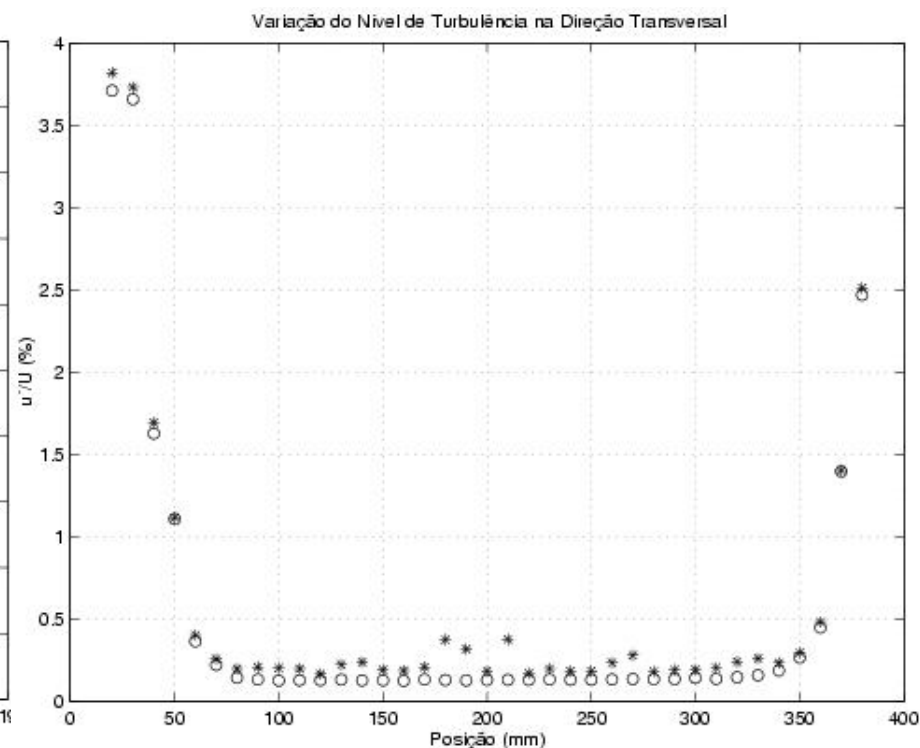
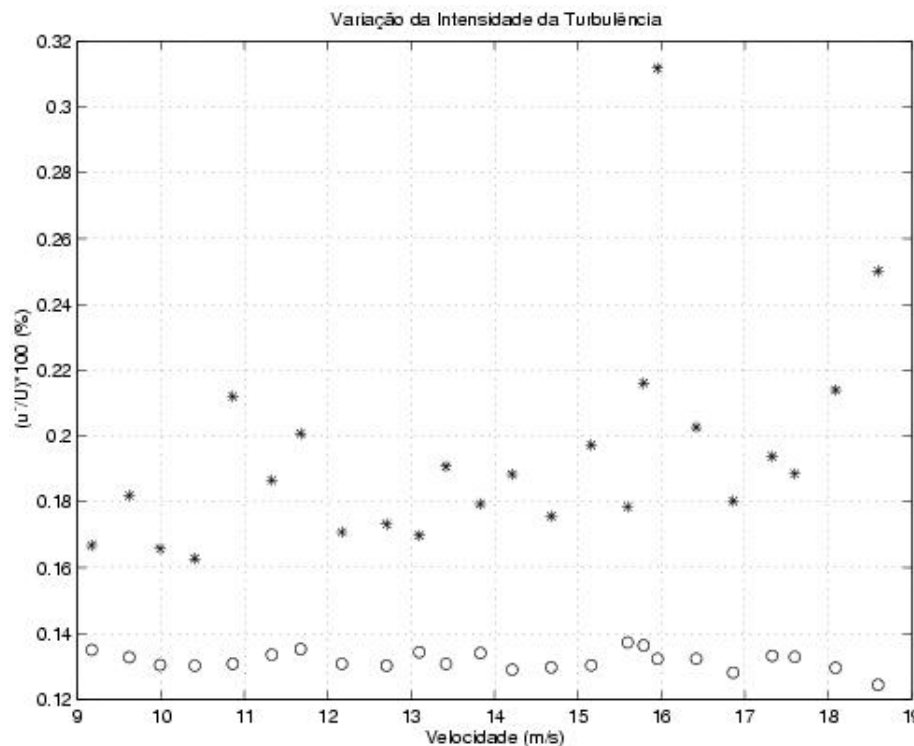
- Open-loop circuit;
- Low Reynolds
- Test section $0.3 \times 0.4 \text{m}^2$

Objective: To investigate the origin of most influent noise sources

Test methodology:

- Measurements with a single hot-wire sensor at different flow velocities;
- Scans at different positions along the test section.

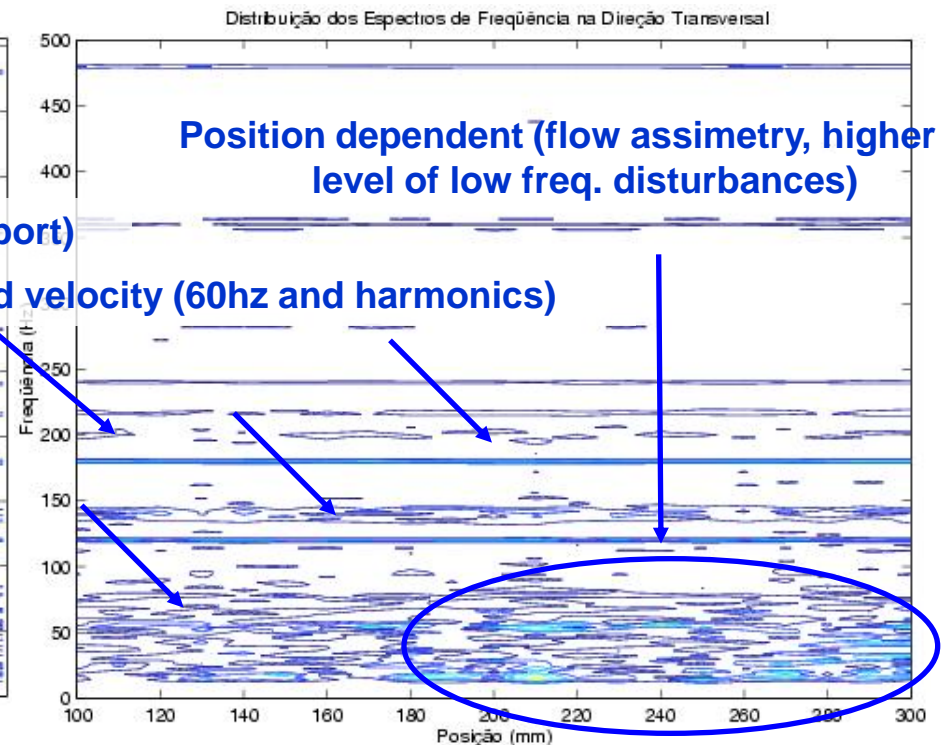
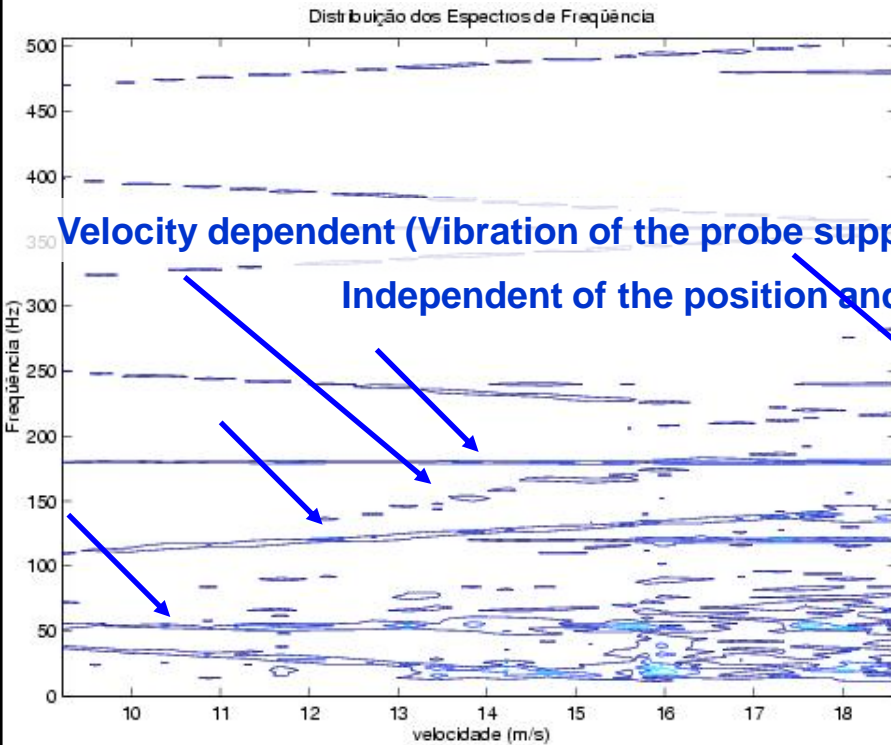
- Equipment tested: Small wind tunnel facility at EESC-USP.



**Turbulence intensity at the center of the test section. Symbols: * - non-filtered
o – Bandpass 20-5000Hz**

Turbulence intensity along the spanwise direction of the test section, measured at middle height

- Equipment tested: Small wind tunnel facility at EESC-USP.



Iso-contours of u' spectra, collected at the center position, for different mean flow velocities

Iso-contours of u' spectra at several spanwise positions, $U_\infty = 18\text{m/s}$.

- Demonstração em Laboratório