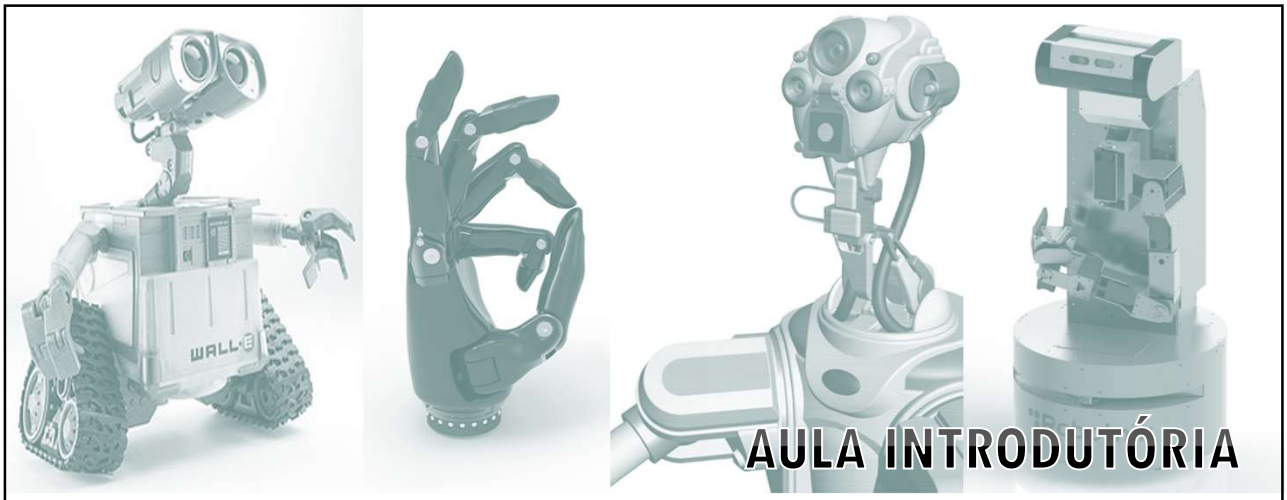


AULA INTRODUTÓRIA

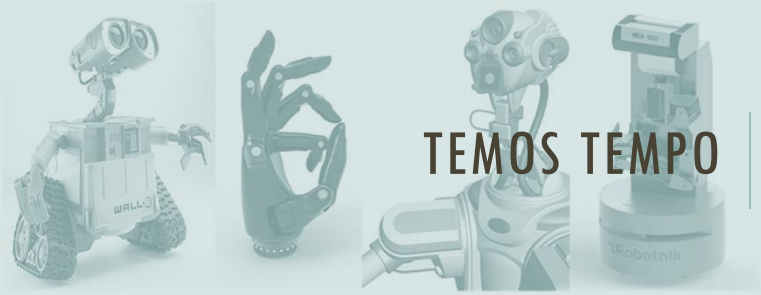
GMSIE – Grupo de Mecânica dos Sólidos e Impacto em Estruturas

Larissa Driemeier
Marcilio Alves
Rafael T. Moura



BEM VINDOS AO CURSO DE INSTRUMENTAÇÃO!

TEMOS TEMPO



Inglês
Regras
Comunicação: STOA
Grupo
Avaliação
Relatórios
Desafios em aula
Tour no lab

CONTEÚDO DA DISCIPLINA

AULA	CONTEÚDO	DATA [2ª/5ª]	PROFESSOR[A]
1	Introdução a sensores	06/08 e 09/08	Marcílio
2	Filtro e FFT	13/08 e 16/08	Larissa
3	Análise virtual e sensores	20/08 e 23/08	Larissa
4	Protocolo de comunicação, MEMS, DIC	27/08 e 30/08	Rafael
5	Sensores resistivos, piezoelétricos e circuitos	10/09 e 13/09	Marcílio
6	Sensores indutivos-magnéticos e circuitos	17/09 e 20/09	Rafael
7	Sensores capacitivos e circuitos	24/09 e 27/09	Rafael
8	Prova [nota Pr]	01/10 [Noite]	Marcílio
9	Análise modal [Exp 1]	08/10 e 11/10	Larissa
10	Filtro e extensômetros [Exp 2]	15/10 e 18/10	Larissa
11	Sensores capacitivos [Exp 3]	22/10 e 25/10	Rafael
12	Encoder e unidade inercial [Exp 4]	29/10 e 01/11	Rafael
13	Sensores magnéticos e a laser [Exp 5]	05/11 e 08/11	Marcílio
14	Sensores piezoelétricos e termopares [Exp 6]	22/11 e 26/11	Marcílio

AVALIAÇÃO

Média = (1/3) * Pr + (2/3) * (Exp 1 + Exp 2 + Exp 3 + Exp 4 + Exp 5 + Exp6)

BIBLIOGRAFIA

: Notas de aula

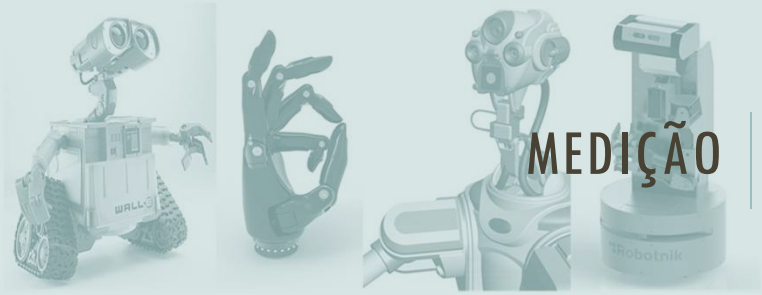
: Resistive, capacitive, inductive and magnetic sensor technologies, WY Du, CRC Press, 2015

: Theory and Design for Mechanical Measurements, 6th Edition, RS Figliola e DE Beasley, Wiley, 2015

: Instrumentação e Fundamentos de Medidas, Vols. 1 e 2, A. Balbinot e V.J. Brusamarello, LTC, 2006

: Practical Interfacing in the Laboratory, S.E. Derenzo, CUP, 2003

: Sensors and Actuators Engineering System Instrumentation, Clarence W. de Silva, 2nd Ed, CRC press, 2016



MEDIÇÃO

Porque medir?!?!?!

PORQUE "MEDIR"?

- **ONTEM**

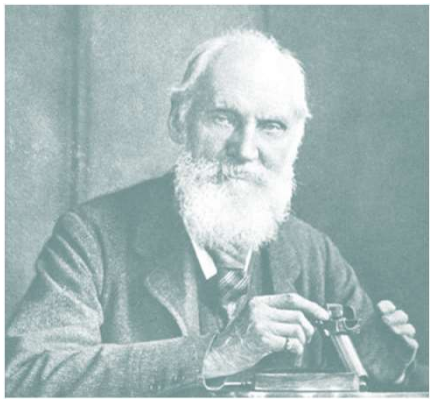
Nenhuma civilização pode escapar a necessidade de um sistema de medição. Os antigos viam necessidade de medir o tempo; distâncias; quantidades. O homem também precisou comparar massas...

Com a evolução, perceberam que a *medida era inerente aos diversos ramos da ciência: astronomia, medicina, física...*

A arte de ***medir bem*** *refletia, de certo modo, o avanço cultural de cada povo.*



3500 aC, foram usados os primeiros relógios de sol.



Se você não pode medir algo, não pode melhorá-lo!
Lorde Kelvin

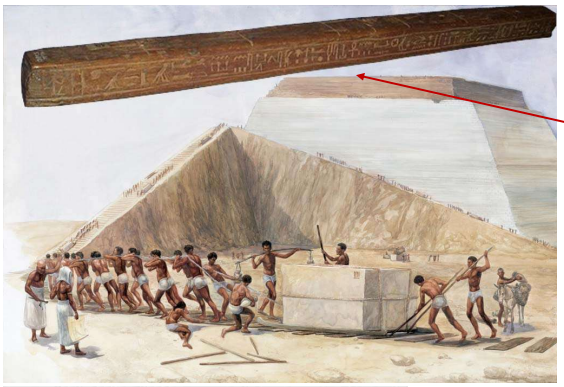


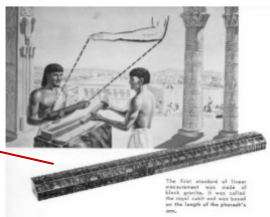
BELOS EXEMPLOS DE MEDIÇÃO...

Porque olhar para história???

The sensitivity of the sensors became higher, the dimensions – smaller, the selectivity – better, and the prices – lower. **What have not changed, are the fundamental principles of the sensor design. They still are governed by the laws of Nature.** Arguably one of the greatest geniuses ever lived, Leonardo Da Vinci had his own peculiar way of praying. It went like this, "Oh Lord, thanks for Thou don't violate Thy own laws. " It is comforting indeed that the laws of Nature do not change with time, it is just that our appreciation of them becomes refined.

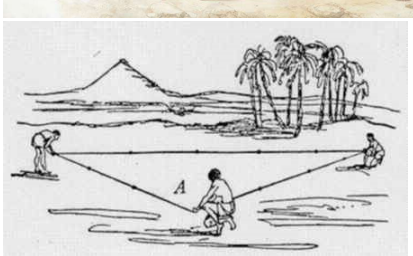
Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications
Jacob Fraden





Cúbito (mais antiga medida de dimensão) foi usada pelos egípcios para medir pirâmides (2750 aC).

O erro médio em comprimento dos lados da Pirâmide Khufu em Gizeh, no Egito, foi 1,5mm. Com instrumentos modernos, peritos constataram que o canto sudeste da pirâmide de Quéops está apenas pouco mais de um centímetro mais alto que o canto noroeste. Isto para uma base, cuja área é de 500.000 m^2 aproximadamente!



A palavra geometria vem do grego *geometrien*, onde geo = terra e *metrien* = medida.

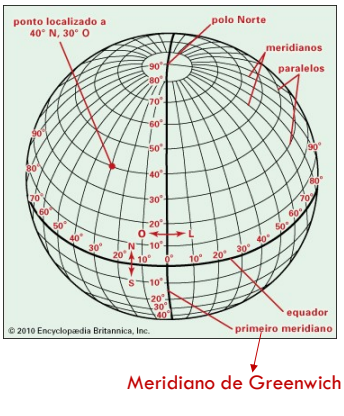
A geometria se originou no Egito, com a medição de terras. Os agrimensores remarcavam os lotes de terras férteis anualmente inundadas pelo Nilo; e os engenheiros podiam avaliar as enchentes, medindo periodicamente o nível de suas águas.

Além disso, mediam, com bastante precisão, distâncias e comprimentos, superfícies de seus campos, áreas e volumes de figuras geométricas simples. Descobriram que a razão entre o comprimento de uma circunferência e o seu diâmetro é a mesma para qualquer circunferência e chegaram ao resultado relativamente exato de 3,16 para o valor de π.

http://astro.unl.edu/naap/motion1/tc_finding.html

LONGITUDE MARÍTIMA

Os marinheiros utilizavam dois relógios para se localizar: um deles era acertado todo dia de acordo com a posição do Sol no céu e o outro mantinha a mesma hora do porto de onde o navio havia zarpado. O problema acontecia sempre com este último...



Meridiano de Greenwich



Cientistas consagrados como Isaac Newton e Edmond Halley haviam tentado estabelecer um método de calcular a longitude, a partir de experimentos de astronomia, mas sem sucesso. Descobrir a longitude era muito difícil porque exigia uma marcação de tempo precisa.
Segundo Isaac Newton, a solução estava em criar *um método utilizando um relógio que meça o tempo com exatidão. Porém, em virtude da movimentação do navio, da variação do calor e frio, umidade e as diferenças da gravidade em diferentes latitudes, um relógio como este ainda não havia sido feito.*

https://www.youtube.com/watch?v=dao0mbAbNLE

ATO DA LONGITUDE (1714)

Em 1714, o parlamento da Inglaterra estabeleceu o famoso *Ato da longitude* com um prêmio:

- equivalente a 12 milhões de dólares atuais por um método capaz de achar a longitude com erro até meio grau
- equivalente a 9 milhões para método com erro até 2 / 3 de grau
- equivalente a 6 milhões para método com erro até um grau.

O relojoeiro inglês **John Harrison** criou seu primeiro protótipo (**H1**) de relógio marítimo em 1761. Mas o Comitê da Longitude rejeitou este e mais dois de seus protótipos e exigiu mais testes.

Somente a quarta versão (**H4**), em 1773, do relógio marítimo criado deu a ele o prêmio. John Harrison já estava com 80 anos...


John Harrison


H1 (1761)

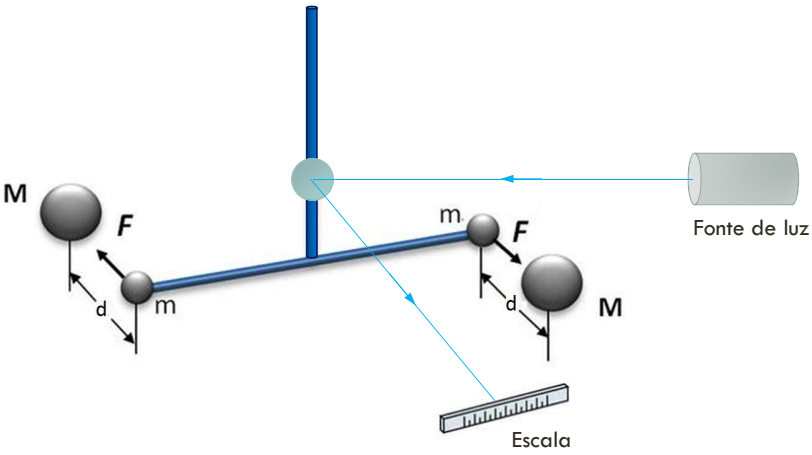

H2


H3


H4 (1773)

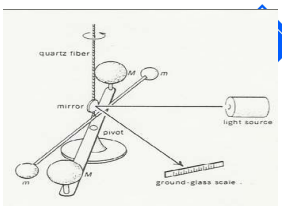
A BALANÇA DE TORÇÃO DE CAVENDISH



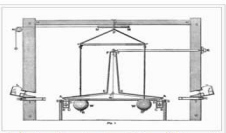




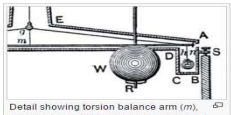
Cavendish experiment



The apparatus constructed by Cavendish was a torsion balance made of a six-foot (1.8 m) wooden rod suspended from a wire, with a 2-inch (51 mm) diameter 1.61-pound (0.73 kg) lead sphere attached to each end. Two 12-inch (300 mm) 348-pound (158 kg) lead balls were located near the smaller balls, about 9 inches (230 mm) away, and held in place with a separate suspension system.[8] The experiment measured the faint gravitational attraction between the small balls and the larger ones.



Vertical section drawing of Cavendish's torsion balance instrument including the building in which it was housed. The large balls were hung from a frame so they could be rotated into position next to the small balls by a pulley from outside. Figure 1 of Cavendish's paper.



Detail showing torsion balance arm (*m*), large ball (*W*), small ball (*x*), and isolating box (*ABCDE*).

The two large balls were positioned on alternate sides of the horizontal wooden arm of the balance. Their mutual attraction to the small balls caused the arm to rotate, twisting the wire supporting the arm. The arm stopped rotating when it reached an angle where the twisting force of the wire balanced the combined gravitational force of attraction between the large and small lead spheres. By measuring the angle of the rod and knowing the twisting force (torque) of the wire for a given angle, Cavendish was able to determine the force between the pairs of masses. Since the gravitational force of the Earth on the small ball could be measured directly by weighing it, the ratio of the two forces allowed the density of the earth to be calculated, using Newton's law of gravitation.

Cavendish found that the Earth's density was 5.448 ± 0.033 times that of water (due to a simple arithmetic error, found in 1821 by Francis Baily, the erroneous value 5.48 ± 0.038 appears in his paper).[9]

To find the wire's torsion coefficient, the torque exerted by the wire for a given angle of twist, Cavendish timed the natural oscillation period of the balance rod as it rotated slowly clockwise and counterclockwise against the twisting of the wire. The period was about 20 minutes. The torsion coefficient could be calculated from this and the mass and dimensions of the balance. Actually, the rod was never at rest; Cavendish had to measure the deflection angle of the rod while it was oscillating.[10]

Cavendish's equipment was remarkably sensitive for its time.[9] The force involved in twisting the torsion balance was very small, 1.74 x 10^{-7} N,[11] about 1/50,000,000 of the weight of the small balls[12] or roughly the weight of a large grain of sand.[13] To prevent air currents and temperature changes from interfering with the measurements, Cavendish placed the entire apparatus in a wooden box about 2 feet (0.61 m) thick, 10 feet (3.0 m) tall, and 10 feet (3.0 m) wide, all in a closed shed on his estate. Through two holes in the walls of the shed, Cavendish used telescopes to observe the movement of the torsion balance's horizontal rod. The motion of the rod was only about 0.16 inches (4.1 mm).[14] Cavendish was able to measure this small deflection to an accuracy of better than one hundredth of an inch using vernier scales on the ends of the rod.[15] Cavendish's accuracy was not exceeded until C. V. Boys' experiment in 1895. In time, Michell's torsion balance became the dominant technique for measuring the gravitational constant (*G*) and most contemporary measurements still use variations of it. This is why Cavendish's experiment became *the* Cavendish experiment.[16]

Whether Cavendish determined G [edit]

The formulation of Newtonian gravity in terms of a gravitational constant did not become standard until long after Cavendish's time. Indeed, one of the first references to *G* is in 1873, 75 years after Cavendish's work.[17] Cavendish expressed his result in terms of the density of the Earth; he referred to his experiment in correspondence as "weighing the world". Later authors reformulated his results in modern terms.[18][19][20]

$$G = g\frac{R_{\text{earth}}^2}{M_{\text{earth}}} = \frac{3g}{4\pi R_{\text{earth}}\rho_{\text{earth}}}$$

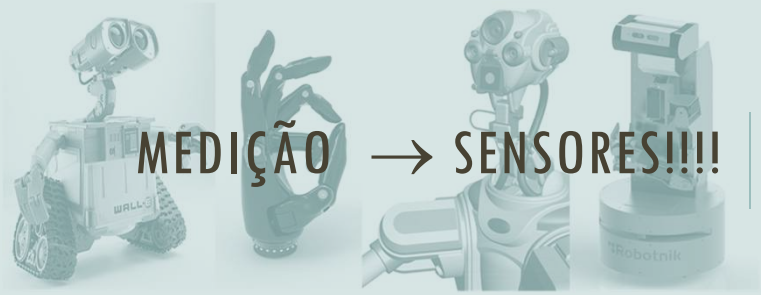
After converting to SI units, Cavendish's value for the Earth's density, 5.448 g cm^{-3}, gives

$$G = 6.74 \times 10^{-11}\ \mathrm{m^3\,kg^{-1}\,s^{-2}},$$

which differs by only 1% from the currently accepted value, 6.67384 × 10^{-11} m^3 kg^{-1} s^{-2}.



MEDIÇÃO → SENSORES!!!!



A medição é feita através de **sensores.**

DEFINIÇÕES

VOCABULÁRIO INTERNACIONAL DE METROLOGIA
VIM 2012
CONCEITOS FUNDAMENTAIS E GERAIS E TERMOS ASSOCIADOS

IPQ INMETRO

1ª edição Luso - Brasileira | 2012

Instrumentation: is the development or use of measuring instruments for observation, monitoring or control

Instrument: a device that measures a physical quantity, such as flow, temperature, level, distance, angle, or pressure

Transducer: a device that receives a signal in the form of one type of energy and converts it to a signal in another form

Sensor: a device that detects or senses heat, light, sound, motion, etc., and then reacts to it in a particular way

3.7 (4.3)
transdutor de medição
measuring transducer
transducteur de mesure
transductor de medida

Dispositivo, utilizado em **medição**, que fornece uma **grandeza** de saída, a qual tem uma relação especificada com uma grandeza de entrada.

EXEMPLOS Termopar, transformador de corrente elétrica, extensômetro, eletrodo de pH, tubo de Bourdon, tira bimetálica.

3.8 (4.14)
sensor
sensor
capteur
sensor

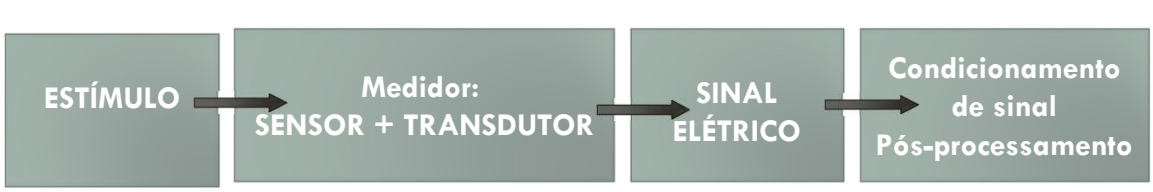
Elemento dum **sistema de medição** que é diretamente afetado por um fenômeno, corpo ou substância que contém a **grandeza** a ser medida.

EXEMPLOS Bobina sensível dum termômetro de resistência de platina, rotor dum medidor de vazão (caudal) de turbina, tubo de Bourdon dum manômetro, bóia dum instrumento de medição de nível, fotocélula dum espectrômetro, cristal líquido termotrópico que muda de cor em função da temperatura.

NOTA Em alguns domínios, o termo "detector" é utilizado para este conceito.

QUALQUER SENSOR É UM CONVERSOR DE ENERGIA ?

Esta conversão raramente é direta e exige **transdutores.**

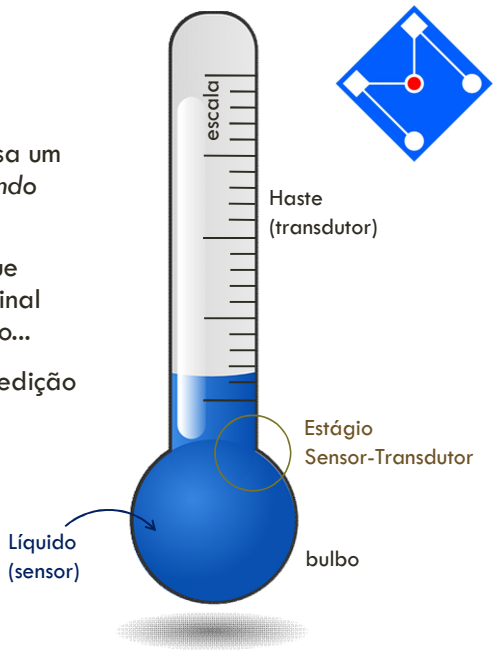


SENSORES VS TRANSDUTORES

O termo **sensor** é utilizado para o elemento que usa um fenômeno natural para *sentir a variável que está sendo medida*.

O termo **transdutor** é utilizado para o elemento que converte a informação sentida pelo sensor em um sinal detectável – que pode ser elétrico, mecânico, óptico...

Transdutor engloba o sensor tornando possível a medição de determinada grandeza.



SENSORS

A device which provides a usable output in response to a specified mesurand

Output signal can be:

- Electrical [accelerometer]
- Mechanical [micrometer]
- Sound [alarm]
- Image [scanning]
- Biological [antibody]
- Chemical [reaction]

Active element of a transducer is the sensor

Resistive, capacitive, inductive and magnetic sensor technologies, WY Du, CRC Press, 2015
Sensors, K Kalantar-zadeh, Springer, 2013
Handbook of modern sensors : physics, designs, and applications / Jacob Fraden.–3rd ed., Springer, 2004

CLASSIFICAÇÃO GERAL DE TRANSDUTORES



1. Mecânicos	1. Deslocamento, movimento, pressão	1. Torquímetro, pêndulo, Venturi, ultrassom
2. Resistivos	2. Voltagem [variação da resistência elétrica, capacitância, indutância, carga elétrica]	2. Ultrassom, detector de presença, força
3. Capacitivos	3. Campo magnético	3. LVDT
4. Indutivos	4. Cor, padrões, frequência	4. DIC, Laser Doppler , deformação por fibra ótica
5. Magnéticos	5. Amplitude	5. Microfone
6. Ópticos	6. Alteração da condutividade elétrica, metal-óxido	6. Detector de gás
7. Acústicos	7. Atividade enzimática, metabólica	7. Anticorpo
8. Químicos		
9. Biológicos		

Mensurando é transformado,pelo sensor ou transdutor, em:

23

CLASSIFICAÇÃO BÁSICA DOS SENSORES



Analógicos x Digitais
- Potenciômetro (analógico);
- Encoder (digital).

Absolutos x Incrementais
- Potenciômetro (absoluto);
- Encoder (incremental).

Sensores Contínuos x Sensores Discretos
- Resistor Variável (contínuo);
- Chaves (discreto).



Termopar

Temperatura
↓
voltagem

(1 estágio)



Célula de carga

Força
↓
Deformação
↓
Voltagem

(2 estágios)

ÁREAS DE UTILIZAÇÃO DE SENSORES

Automação industrial – identificação de peças , verificação de posição, medição de força, deslocamento, ...

Automação bancária ou escritório – leitura de código de barras, tarja magnética, identificação de impressão digital, ...

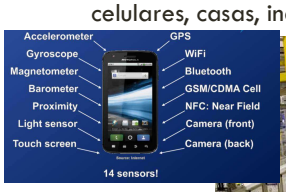
Automação veicular – sensores de composição de gases de escapamento, sensores de temperatura, sensores de velocidade, de posição, ...

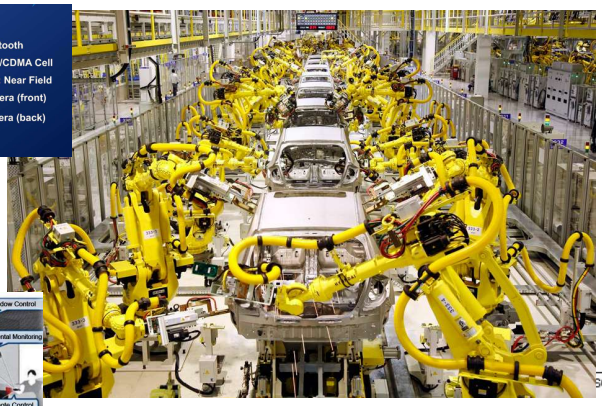
Automação residencial (domótica) – sistemas de alarme, sensores para controle de temperatura ambiente, sensores de controle de luminosidade, sensores de detecção de vazamento de gás, sensores de presença para acendimento automático de lâmpadas, etc...

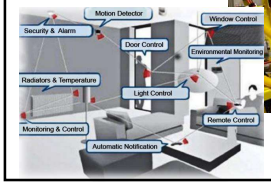
Princípios da Mecatrônica, J. M. Rosário
Pearson Prentice Hall, 2004

SEM SENSORES, SEM MEDIÇÃO... NÃO HÁ AUTOMAÇÃO.

Sensores são penetrantes. Eles estão incorporados em nossos corpos, automóveis, aviões, celulares, casas, indústrias ...

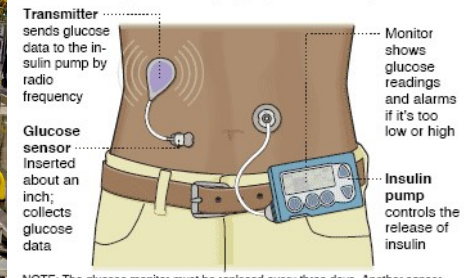






Devices ease monitoring blood sugar

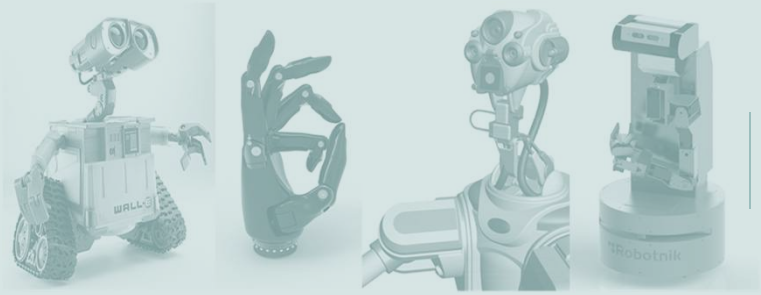
New sensors help diabetics track glucose levels around the clock, closer monitoring than standby finger-prick blood tests provide.



NOTE: The glucose monitor must be replaced every three days. Another sensor works for seven days, but does not have an insulin pump.

SOURCES: Medtronic; Juvenile Diabetes Research Foundation AP

CARACTERÍSTICAS DOS SENSORES



Características estáticas

CARACTERÍSTICAS ESTÁTICAS

- Se o valor não muda dentro do período de tempo da medição, então as características do instrumento de medida são ditas ***estáticas***.
- *Destacam-se:*
  - *Sensibilidade;*
  - *Linearidade;*
  - *Resolução;*
  - *Faixa de operação;*
  - *Histerese;*
  - *Threshold;*
  - *Zona morta;*
  - *Relação sinal/ruído.*

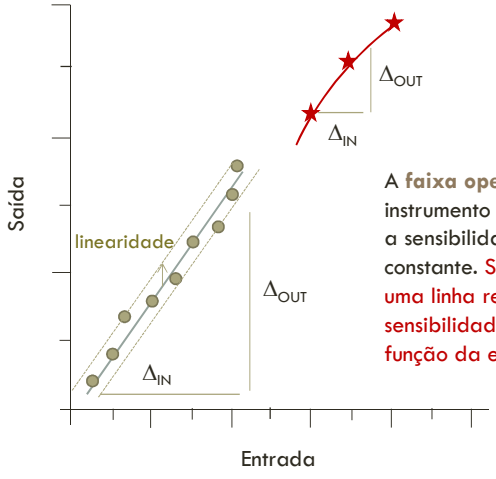
SENSIBILIDADE

Sensibilidade estática ou ganho – A razão da variação na saída pela variação da entrada, depois do regime permanente ser alcançado

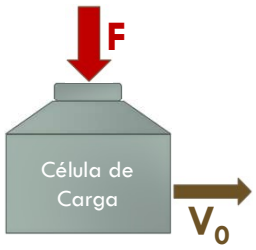
$$k = \Delta_{IN}/\Delta_{OUT}$$

Linear ou não linear.

A **linearidade** Indica o máximo desvio da função de transferência do instrumento de uma reta de referência média. Aplica-se a sistemas de medição projetados para serem lineares. Na verdade expressa a não linearidade



A **faixa operacional** do instrumento é aquela na qual a sensibilidade estática é constante. Se a curva não for uma linha reta, a sensibilidade variará em função da entrada.



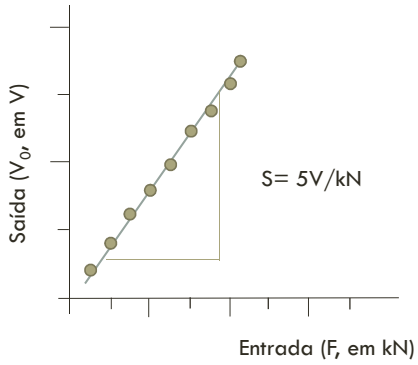


Diagrama de bloco:

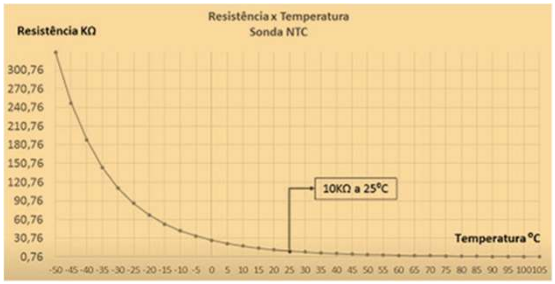


Sensibilidade $K=5V/kN$

EXISTEM SENSORES NÃO LINEARES...

Nos sensores de temperatura NTC e PTC a relação entre resistência elétrica e a temperatura é conhecida e mensurável e possuem uma boa tolerância e precisão.

Os sensores do tipo NTC são os mais usados pela facilidade de fabricação e pela grande sensibilidade ao aumento de temperatura. Porém, **a curva de temperatura do sensor tipo NTC não é linear.**



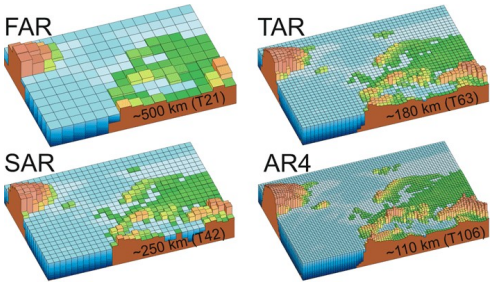
SONDA NTC (Modelo 103AT-II)	
Tipo:	NTC
Resistência:	10 kOhms
Tolerância:	1 %
Estilo de acabamento:	Wire
Faixa de temperatura operacional:	– 50 C to + 105 C

Exemplo extraído do site: http://www.mundodaeletrica.com.br/sensor-de-temperatura-ntc-ptc/

RESOLUÇÃO

Resolução – é a menor variação do sinal de entrada que resultará em uma variação mensurável no sinal de saída.

Pode ser descrita em termos absolutos ou relativos...



Por exemplo,
O sensor magnético HMC100

EXEMPLOS DE RESOLUÇÃO

Sensor de temperatura

Board Mount Temperature Sensor

- ADT7320

Temperature Resolution			
13-Bit	0.0625	°C	13-bit resolution (sign + 12 bits)
16-Bit	0.0078	°C	16-bit resolution (sign + 15 bits)

RESOLUÇÃO

Razão entre a máxima e mínima parte de um sinal que pode ser medida

Exemplo: transdutor pode medir na faixa de -10V a +10V com um conversor A/D de 16 bits

A resolução seria de
20V em 2^{16} partes = 305 μV
excluindo-se ruídos

FAIXA DE ATUAÇÃO

Range ou faixa de atuação (FS-Full Span) – é a diferença entre o maior e menor sinal de entrada que pode ser exibido/indicado. Se um termômetro varia de -30 a 220 °C, então, a faixa de atuação é de 250 °C.



AINDA SOBRE FAIXA DE ATUAÇÃO

Sensor unipolar

Por exemplo,

- Sensor de pressão com faixa de atuação:

0~200 MPa

- Sensor de forças compressivas com faixa de atuação:

-30kN ~ 0 N

Sensor bipolar simétrico e assimétrico

Por exemplo,

- Sensor de aceleração simétrico com faixa de atuação :

±25g

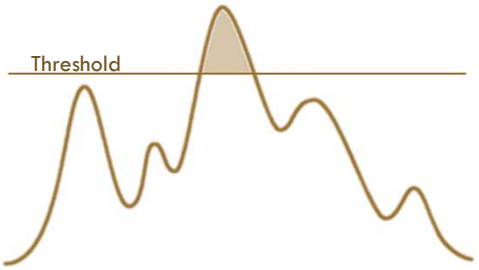
onde $g=9,81 ms^{-2}$

- Sensor de choque assimétrico com faixa de atuação:

-200g ~ +10000g

THRESHOLD

O nível mínimo de entrada que produz uma leitura de saída detectável, suficientemente grande para modificar o estado inicial do instrumento. Muitas vezes, os estados iniciais do instrumento estão em zero.

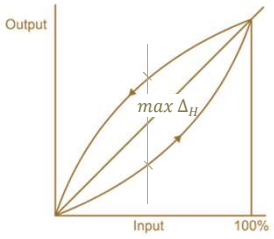


HISTERESE

Um sensor pode produzir diferentes saídas, dependendo da *direção* em que nos aproximamos do valor a ser medido. Isto é, histerese é a não coincidência das curvas ascendente e descendente.

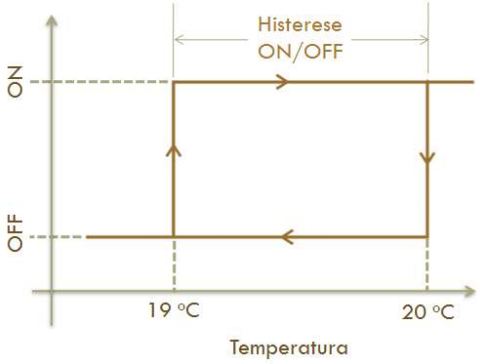
A porcentagem de erro por histerese é dado por:

$$\delta_H = \frac{max\ \Delta_H}{FS}$$



HISTERESE ON-OFF

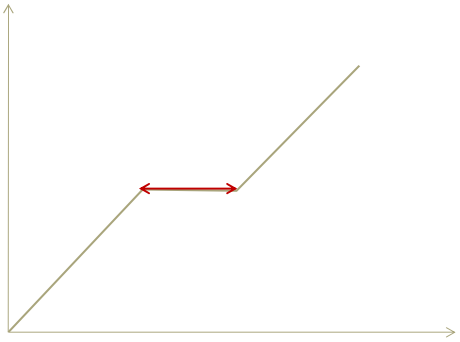
- Essa histerese pode ser ajustada e, muitas vezes, é necessária.
- Por exemplo, se a temperatura desejada for de 20°C, desliga-se o termostato a 20 ° C e, em seguida, liga-se a 19 °C. A histerese será de 1 °C



ZONA MORTA

A faixa na qual a entrada é variada sem mudança observável na saída. Geralmente expressa em percentagem da faixa total.

Possíveis causas são atrito, folga ou histerese no instrumento.



RELAÇÃO SINAL/RUÍDO

Comumente conhecida como S/N ou SNR, do inglês, *signal-to-noise ratio* ou RSR em português.

É a relação entre as potências do um sinal a ser medido, P_s, e do ruído de fundo, P_r :

$$SNR = 10 \log\left(\frac{P_s}{P_r}\right)$$

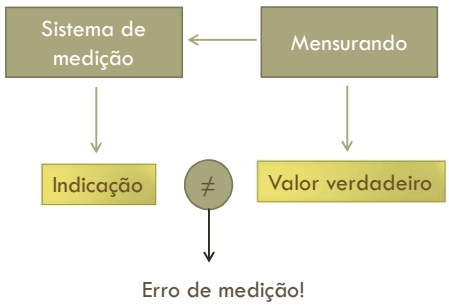
SNR em dB e P_se P_r em W.

ERROS

Se o processo de medida for repetido inúmeras vezes em condições *idênticas*, serão obtidas diferentes leituras do instrumento que, provavelmente, não serão todas iguais.

Isto significa que nunca é possível **garantir condições perfeitamente idênticas para cada tentativa**.

Os fatores que podem afetar a saída de um instrumento são infinitos. Os efeitos das *condições ambientais* (pressão atmosférica, temperatura e umidade) e oscilações da fonte de alimentação do instrumento, são os mais óbvios.



ERROS

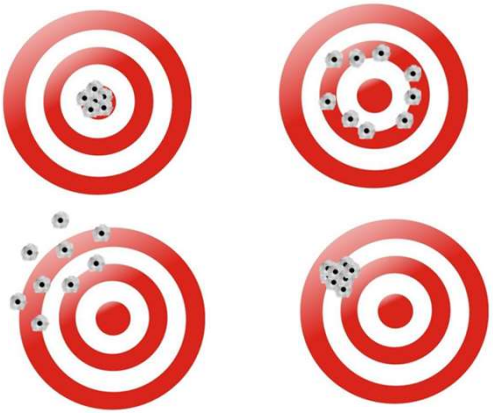
Erro aleatório – variações temporais ou espaciais, estocásticas ou imprevisíveis. Embora não se possa eliminá-lo, pode-se reduzi-lo com aumento do número de observações ou ensaios (o processo de medida deve estar em condições de ***controle estatístico***).

Erro sistemático – origina-se de um efeito conhecido e repetitivo em um valor de medição. Esse tipo de erro pode ser significantemente reduzido se for quantificado para aplicação de um fator de correção.



ESPECIFICAÇÃO DO DESEMPENHO





ACURÁCIA: Grau de concordância entre um valor medido e um valor de referência (real).

PRECISÃO: Grau de concordância entre valores apurados, obtidos por medições repetidas, no mesmo ponto de medição.

Acurado e preciso



Centro do alvo
Repetitivo exato

Acurado e não preciso



Centro do alvo
Não repetitivo exato

Não acurado e preciso



Centro do alvo
Repetitivo inexato

Não acurado e não preciso



Centro do alvo
Não repetitivo inexato

UM POUCO MAIS SOBRE ACURÁCIA...

MÁXIMO DESVIO DO VALOR MEDIDO PELO SENSOR EM RELAÇÃO AO VALOR REAL.

Acurácia absoluta

Pode ser dada em termos de parâmetro medido ou em termos de parâmetro de saída.

Acurácia relativa

Pode ser dada em termos de porcentagem do erro máximo do parâmetro medido em relação ao valor real

$$\frac{\max\{valor\ medido - valo\ \ real\}}{valor\ real} x\ 100\%$$

ou em termos do erro máximo do parâmetro medido em relação à faixa total de atuação

$$\frac{\max\{valor\ medido - valor\ real\}}{faixa\ de\ atuação} x\ 100\%$$

CONT...

Por exemplo, um sensor de pressão piezo-resistivo tem acurácia absoluta especificada como:

±0,5kPa (em termos de parâmetro medido) ou,

±0,05Ω (em termos de resistência de saída) ou,

±0,5% (relativo a seu valor verdadeiro)



UM POUCO MAIS SOBRE PRECISÃO

REFERE-SE AO GRAU DE REPETIBILIDADE OU REPRODUTIBILIDADE DE UM SENSOR

A **precisão** da i-ésima medida pode ser definida como,

$$P = 1 - \left|\frac{x_i - \bar{x}}{\bar{x}}\right|$$

onde x_i é a i-ésima medida e $\bar{x}$ é a média de todas as medidas realizadas.

Qual a precisão da sexta medida?

TABLE 1.2
Ten Outputs from a Static Pressure Sensor with a 150 mmHg Input

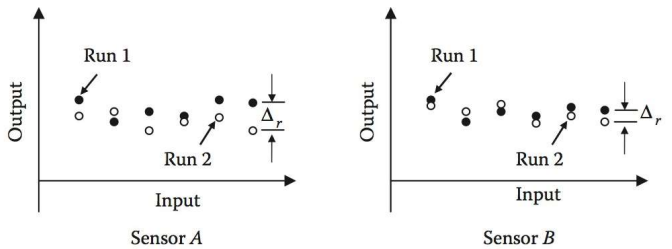
Reading Number	Sensor Output Value (mmHg)
1	149
2	151
3	152
4	149
5	150
6	153
7	152
8	149
9	147
10	151

Winncy Y. Du, *Resistive, Capacitive, Inductive, and Magnetic Sensor Technologies*. CRC Press, 2014

CONT...

O **erro de repetibilidade** descreve a inabilidade de um sensor reconhecer o mesmo valor sob *condições idênticas*...

$$\delta_r = \frac{max\{\Delta_r\}}{FS} x100\%$$

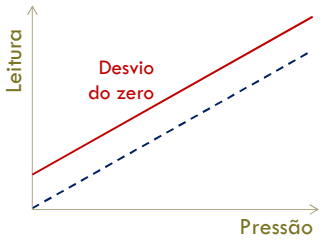


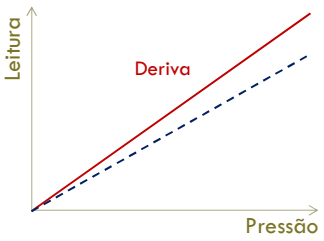
Winncy Y. Du, *Resistive, Capacitive, Inductive, and Magnetic Sensor Technologies*. CRC Press, 2014

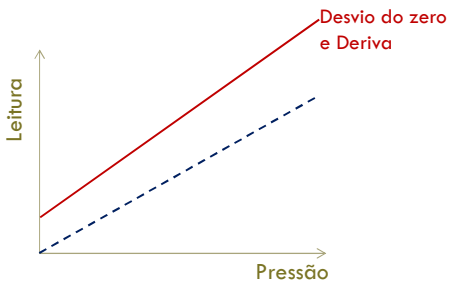
Dois sensores A e B foram utilizados para a medição das variáveis. Se duas medições foram feitas para cada entrada, qual sensor aparenta maior erro de repetibilidade?

OS EFEITOS AMBIENTAIS

- Todas as calibrações e especificações do instrumento são válidas somente sob condições controladas de temperatura, pressão, etc.
- Estas condições ambientes normais são geralmente definidas na especificação do aparelho.
- Como variações ocorrem na temperatura ambiente, por exemplo, certas características estáticas do instrumento se alteram e a **sensibilidade à perturbação** é definida como a medida da magnitude desta alteração.
- Tais mudanças ambientais afetam instrumentos de duas formas principais, conhecidos como *desvio do zero (zero drift)* ou *viés (bias)* e *deriva (sensibility drift)*







Operação à condições nominais de projeto

ERRO

Muitos fatores podem afetar o resultado de um sensor: temperatura, linearidade, histerese, repetibilidade, estabilidade, conversão A/D, resolução de saída, *desvio do zero* ...

O erro total é dado por:

$$e = \pm\sqrt{e_1^2 + e_2^2 + \cdots}$$



onde e_i representa a contribuição de cada fator.

EXEMPLO

APLICAÇÃO
Destina-se à medição de pressão e temperatura em ambiente submarino, até 2500m de profundidade Para instalação em ANMs e Manifolds, onde se faz necessária a monitoração dos dados de pressão e temperatura das etapas de produção.

ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA

Geral:
- Alimentação 12 a 36 Vdc;
- Sinal de saída : 4-20 Ma;
- Comprimento do cabo : até 20 km;
- Flange API-6A - 113/16 -10000 - Anel BX 151;
- Aplicação submarina até a profundidade de 2.500m de água;
- Material: Aço inoxidável UNSS 31603 ou UNS 32550 (Super duplex);
- Comprimento do Probe: 190mm.

Pressão:
- Faixa de calibração: 0 a 5.000 psi / 0 a 10.000 psi;
- Pressão máxima admissível: 1.5xFE;
- Temperatura de operação: 0°C a 100°C / 0°C a 120°C (no probe);
- Exatidão: ± 0,2 % F.E. (não-linearidade , histerese, não repetibilidade e efeito térmico).

Temperatura:
-Faixa de temperatura: 0 a 100°C / 0°C a 120°C;
-Exatidão: ± 0,5 % F.E. (não-linearidade , histerese, não repetibilidade).

Obs.: Os ranges fornecidos referem-se à versão standard. Outros podem ser fornecidos segundo especificação do cliente.



CALIBRAÇÃO

Calibração é um conjunto de operações que permitem correlacionar, sob condições especificadas, os valores indicados por um instrumento de medição e aqueles correspondentes à grandeza que está sendo medida.

O resultado de uma calibração permite tanto o estabelecimento dos valores do mensurando, **como a determinação das correções a serem aplicadas.**

*"Operation that, under specified conditions, in a first step, establishes a relation between the **quantity values** with **measurement uncertainties** provided by **measurement standards** and corresponding **indications** with associated measurement uncertainties, and in a second step, uses this information to establish a relation for obtaining a measurement result from an indication"*

International Vocabulary of Metrology

HELMET DROP TEST



PADRÃO

Padrão medida materializada, instrumento de medição, material de referência ou sistema de medição destinado a definir, realizar, conservar ou reproduzir uma unidade ou um ou mais valores de uma grandeza para servir como referência.

Padrão Primário: padrão que é designado ou amplamente reconhecido como tendo as mais altas qualidades metrológicas e cujo valor é aceito sem referência a outros padrões de mesma grandeza.

Padrão secundário: padrão cujo valor é estabelecido por comparação a um padrão primário da mesma grandeza.

Padrão Nacional: padrão reconhecido por uma decisão nacional para servir, em um país, como base para estabelecer valores a outros padrões da grandeza a que se refere

Padrão Internacional: padrão reconhecido por um acordo internacional para servir, internacionalmente, como base para estabelecer valores a outros padrões da grandeza a que se refere.

Padrão de referência: padrão, geralmente tendo a mais alta qualidade metrológica disponível em um dado local ou em uma dada organização, a partir do qual as medições lá executadas são derivadas.

Padrão de Transferência: padrão utilizado como intermediário para comparar padrões.

Padrão de Trabalho:padrão utilizado rotineiramente para calibrar ou controlar medidas materializadas, instrumentos de medição ou materiais de referência.

EXEMPLOS...

Padrão de intensidade de corrente elétrica:

- Ampère: representado pela intensidade de corrente elétrica constante que deve existir em dois condutores retilíneos, paralelos, de comprimento infinito, de seção desprezível, e colocados no vácuo à distância de um metro um do outro, para produzir entre os dois condutores uma força de **2×10^{-7} N** por metro de comprimento

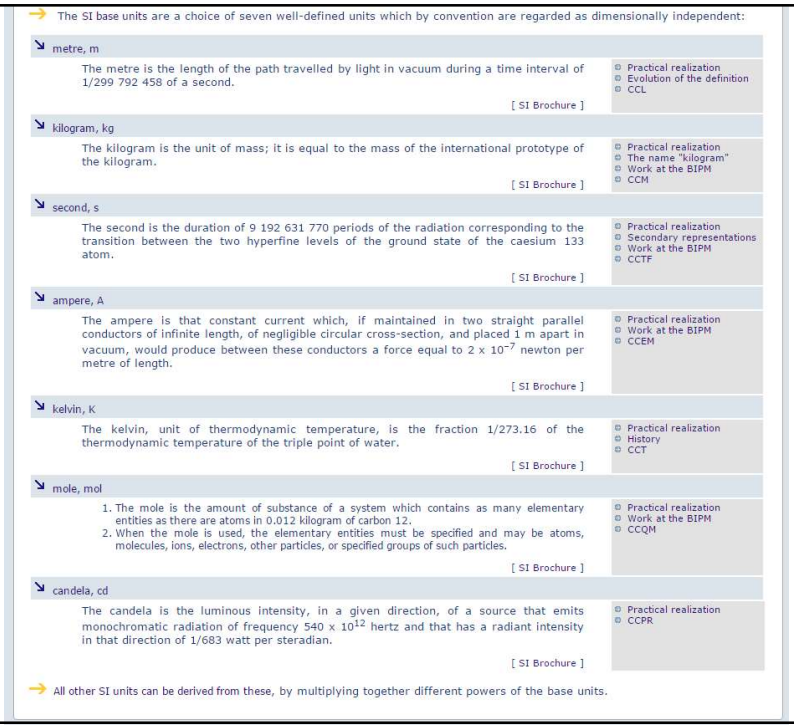
Padrão de Temperatura:

- Kelvin: é representado atribuindo à temperatura do ponto tríplice da água o valor de 273,16K

Padrão de intensidade luminosa:

- Candela: é a intensidade luminosa de uma fonte emitindo radiação monocromática na freqüência de 540×10^{12} Hertz com uma intensidade de 1/683 watt por steradiano.

http://www.npl.co.uk/reference/measurement-units/si-base-units/the-ampere



The SI base units are a choice of seven well-defined units which by convention are regarded as dimensionally independent:

metre, m

The metre is the length of the path travelled by light in vacuum during a time interval of 1/299 792 458 of a second.

[SI Brochure]

- Practical realization
- Evolution of the definition
- CCL

kilogram, kg

The kilogram is the unit of mass; it is equal to the mass of the international prototype of the kilogram.

[SI Brochure]

- Practical realization
- The name "kilogram"
- Work at the BIPM
- CCM

second, s

The second is the duration of 9 192 631 770 periods of the radiation corresponding to the transition between the two hyperfine levels of the ground state of the caesium 133 atom.

[SI Brochure]

- Practical realization
- Secondary representations
- Work at the BIPM
- CCTF

ampere, A

The ampere is that constant current which, if maintained in two straight parallel conductors of infinite length, of negligible circular cross-section, and placed 1 m apart in vacuum, would produce between these conductors a force equal to 2×10^{-7} newton per metre of length.

[SI Brochure]

- Practical realization
- Work at the BIPM
- CCEM

kelvin, K

The kelvin, unit of thermodynamic temperature, is the fraction 1/273.16 of the thermodynamic temperature of the triple point of water.

[SI Brochure]

- Practical realization
- History
- CCT

mole, mol

1. The mole is the amount of substance of a system which contains as many elementary entities as there are atoms in 0.012 kilogram of carbon 12.
2. When the mole is used, the elementary entities must be specified and may be atoms, molecules, ions, electrons, other particles, or specified groups of such particles.

[SI Brochure]

- Practical realization
- Work at the BIPM
- CCQM

candela, cd

The candela is the luminous intensity, in a given direction, of a source that emits monochromatic radiation of frequency 540×10^{12} hertz and that has a radiant intensity in that direction of 1/683 watt per steradian.

[SI Brochure]

- Practical realization
- CCPR

All other SI units can be derived from these, by multiplying together different powers of the base units.

UNIDADES DE MEDIDA

Sistema Internacional (SI)

Sistema de unidades coerente adotado e recomendado pela Conferência Geral de Pesos e Medidas (em vigor no Brasil)

O SI é baseado nas seguintes sete unidades de base:

metro (m)	comprimento	[L]
quilograma (kg)	massa	[M]
segundo(s)	tempo	[T]
ampère(A)	intensidade de corrente elétrica	[I]
kelvin(K)	temperatura termodinâmica	[Θ]
mole(mol)	quantidade de matéria	
candela(cd)	intensidade luminosa	

Outros sistemas: MKS, CGS, Inglês.

61

GRANDEZAS FUNDAMENTAIS



Unidades

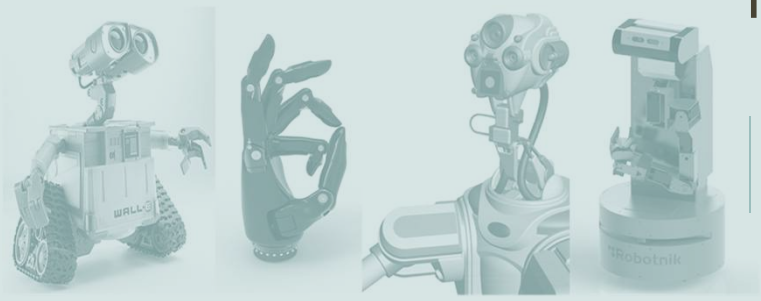
Grandezas básicas e derivadas

Filosofia da medição [positivismo]

ESTATÍSTICA

Quantas medidas são necessárias?

TIPO DE SENSORES



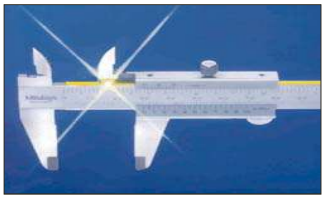
Mechanical sensors

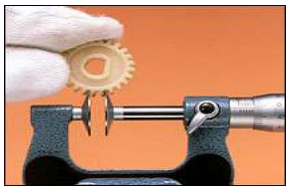
Medidores
- Dimensionais
- De movimento e direção
- De pressão
- De massa e força
- De temperatura

1. Mechanical
2. Resistive
3. Capacitive
4. Inductive
5. Magnetic
6. Optical
7. Acoustic
8. Chemical
9. Biological

65

SENSORES MECÂNICOS DIMENSIONAIS



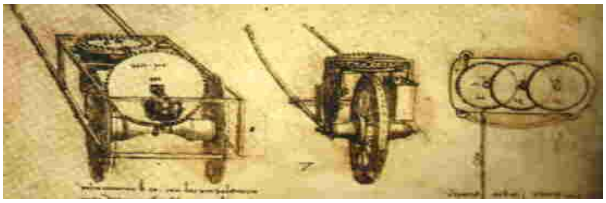





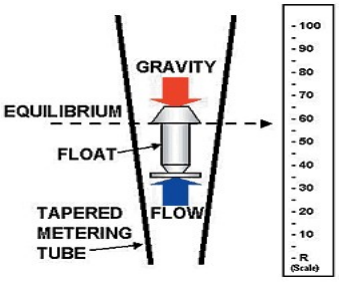
66

Sensores mecânicos de movimento, direção e fluxo





- Velocímetro
- Odômetro
- Tubo de Venturi
- Pêndulo de Foucault



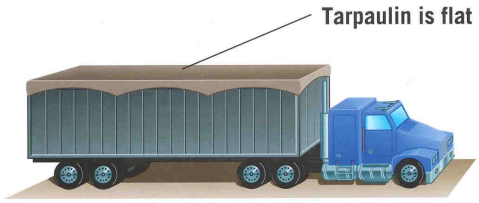
Giroscópio

Resiste a mudanças de sua orientação

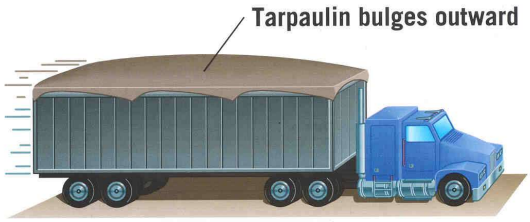


Giroscópio de um torpedo alemão.

http://www.gyroscopes.org/index.asp



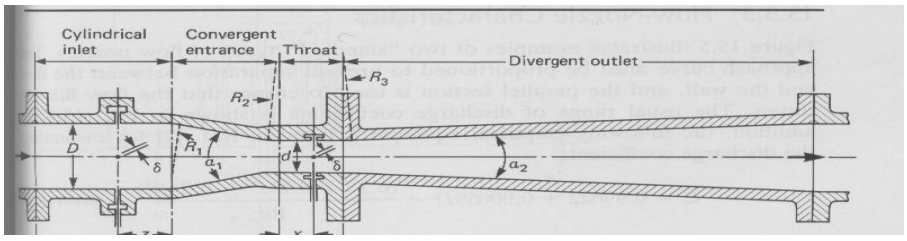
Stationary

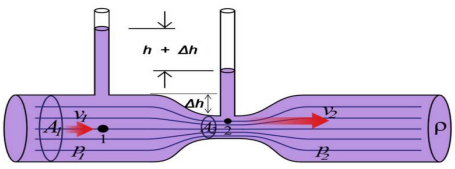


Moving

69

MEDIDOR DE VAZÃO (TUBO DE VENTURI)

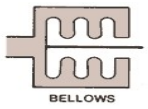


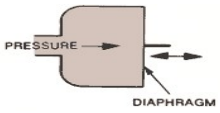


$$Q = kA_2\sqrt{\frac{2}{\rho}}\sqrt{p_1 - p_2}$$

70

SENSORES MECÂNICOS DE PRESSÃO



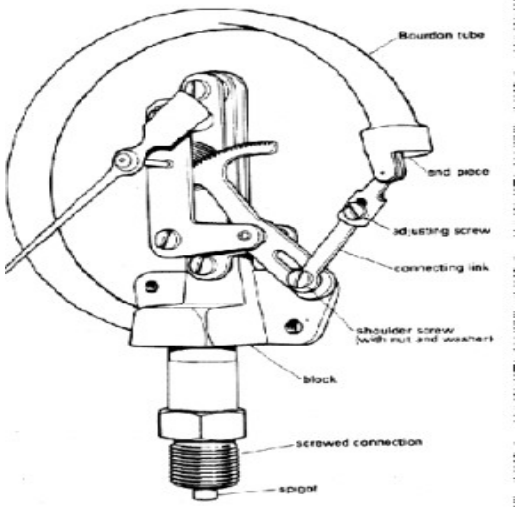


•Elásticos

•tubos
•diafragmas

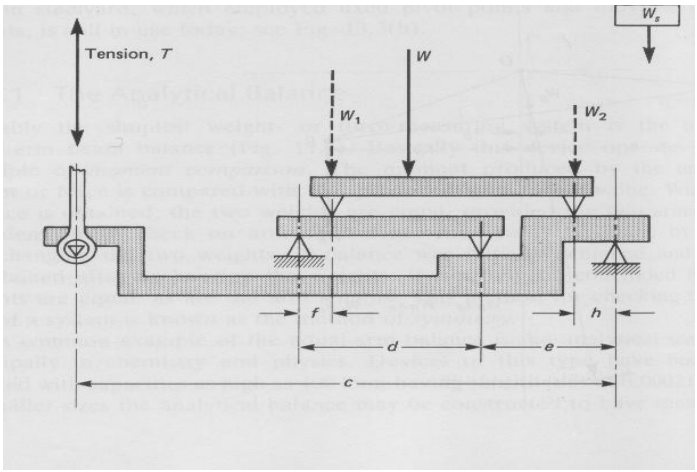






Sensores mecânicos de massa

- Balança analítica
- Balança pendular
- Balança torsional (de Cavendish)

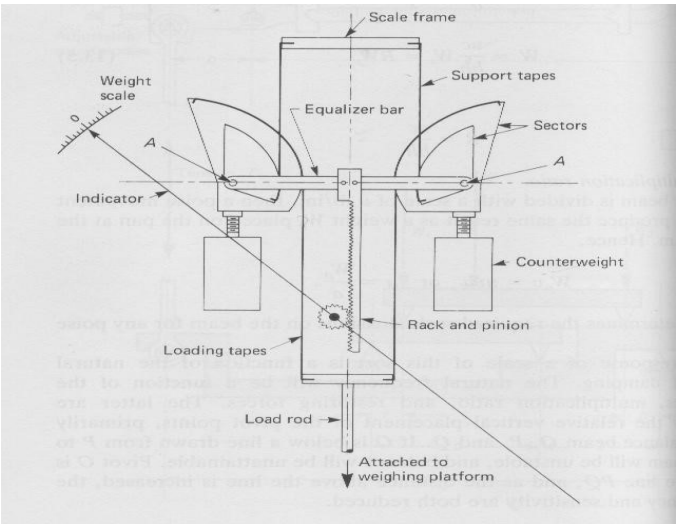








Balança pendular





The high-bay area of the large-mass facility, showing cylindrical containers brought to PML for calibration. The metal disks in the foreground are PML reference masses ranging from 2,500 pounds to 30,000 pounds. The tent-like enclosures are covers for the reference masses, which are hand-cleaned prior to use.

This painstaking process, which proceeds seriatim from 1 kg to 2 kg to 5 kg to 10 kg to 20 kg to 50 kg, and so forth, eventually arrives at 500 pounds. (Very large masses are often expressed in pounds for historical reasons, just as many NIST measurements for the petroleum industry are expressed in gallons or barrels.)
From there, the stepwise process proceeds until there are fully calibrated 20,000 pound and 30,000 pound mass standards, which allows combinations of standards that enable the team to use the full capacity of the balance.
That entire sequence consumes a substantial amount of time. "Back in 2010, we acquired some new standard masses," Kubarych says. "Some of the older large masses were cast steel, and thus were not as stable over time as we need. So we supplemented what we already had with new standards, all stainless steel with well characterized densities. The old sets were decommissioned. But first we had to recalibrate those new standards all the way from the prototype. We finally finished in December of 2012."
"The whole dissemination process of working up and down from the kilogram to all of our working mass standards would take a solid six months of work if you did nothing," Chesnutwood says. "In practical terms, it can take up to two years."

The whole large-mass facility was originally designed to enable periodic recalibration of the numerous 50,000 pound masses used in NIST's million-pound (4.448 meganewton) deadweight machine.

http://www.nist.gov/pml/div684/grp07/large-mass-calibration.cfm

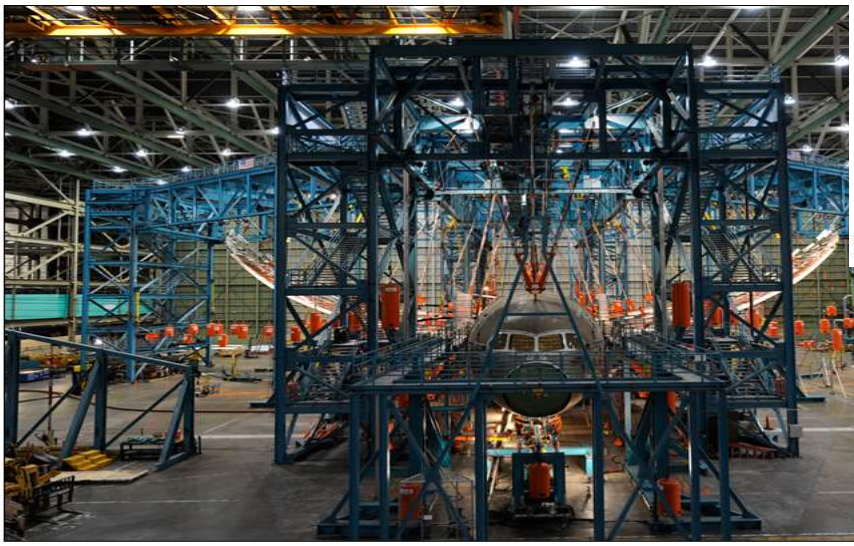




Figure 3-1. *Low profile mechanical platform scales are used to weigh some aircraft. One scale is placed under each wheel.*

PML's Mass and Force Group calibrated the deadweights and load cells that Boeing used to help perform stress tests on the airframe of the 787 Dreamliner. Shown here is wing loading.

INMETRO



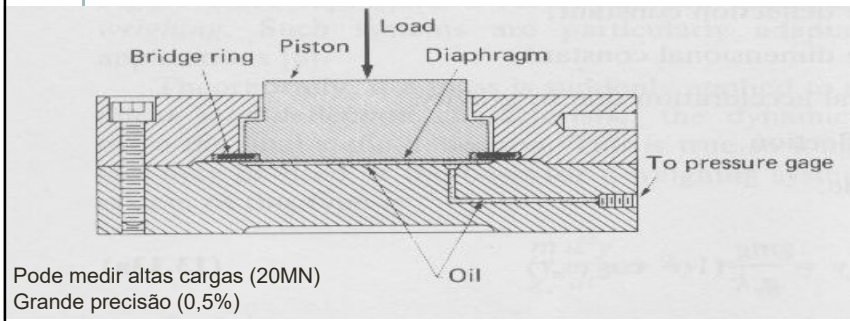
Comparadora de massa automática com capacidade de 64 kg e resolução de 0,1 mg

Peso-padrão de 1 mg até 5 g; Incerteza: 1/5 do erro máximo admissível para a classe de exatidão OIML E_1/2004
Padrões utilizados: Pesos-padrão
Evidência de rastreabilidade dos padrões utilizados ao SI:
Calibrados pelo método da subdivisão no Lamas, a partir de um padrão de aço de 1 kg, calibrado em comparação ao Protótipo Nacional do kilograma (K66). O Protótipo K66 é periodicamente calibrado em relação aos padrões de trabalho do BIPM que, por sua vez, são calibrados em comparação ao Protótipo Internacional. Padrões utilizados: Pesos-padrão. Código do serviço de calibração interna de "pesos-padrão", pelo método da subdivisão, no Inmetro: 8409

Sensores mecânicos de força

- Torquímetros
- Célula de carga mecânica
- Célula de carga com fluido
- Dinamômetros

CÉLULA DE CARGA COM FLUIDO



Pode medir altas cargas (20MN)
Grande precisão (0,5%)

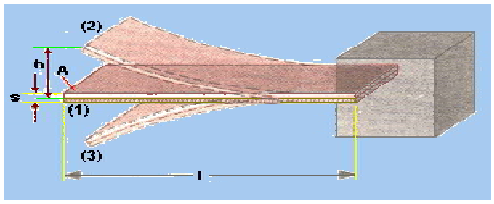


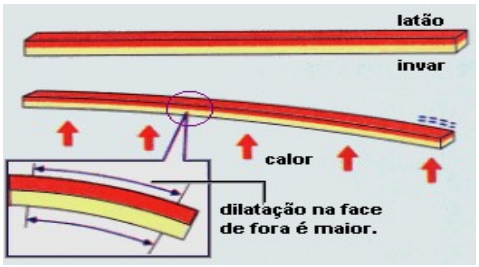
The close-up view of one of the Emery Winslow Model 136, 75,000-pound hydrostatic load cells used in the Bocker Grain installation.

Scales range from small bench scales at 20-pound capacity, reading in 0.01 pound increments to a 12 million-pound load cell found at the National Institute of Standards and Technology in their testing laboratory. Hydrostatic truck scales use 75,000 pound load cells, while railroad track scales use 100,000- and 200,000-pound cells. Because tanks come in all sizes, load cells for them range from 3,000 to 300,000 pounds.

Sensores mecânicos de temperatura

- Termômetro de coluna
- Lâmina bimetálica





79

Transdutores elétricos

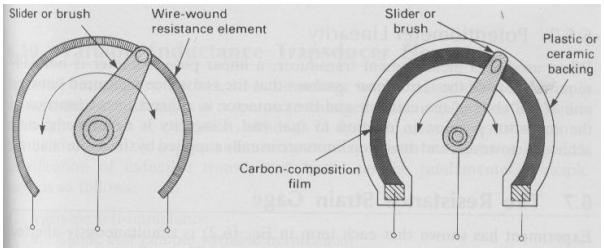
- Deformação
- Posição ou distância
- Temperatura
- Velocidade de fluido

80

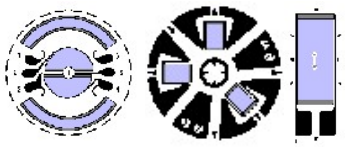
Transdutores elétricos com resistência variável

- Deformação (extensômetros)
- Posição ou distância (resistência variável)
  - Linear
  - Angular



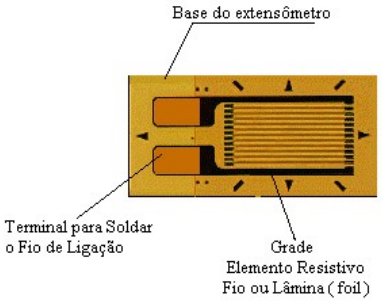


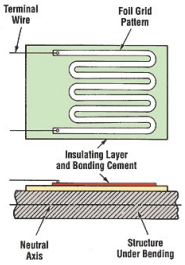
EXTENSÔMETROS (STRAIN GAUGES)



$$R = \frac{\rho l}{A}$$

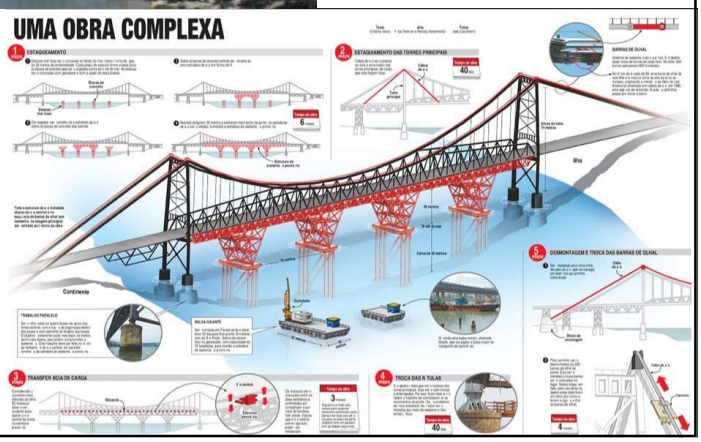
$$\varepsilon = \frac{1}{G.F.}\frac{\Delta R}{R}$$



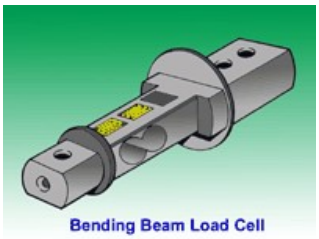




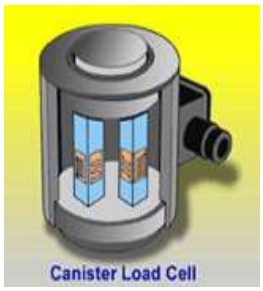




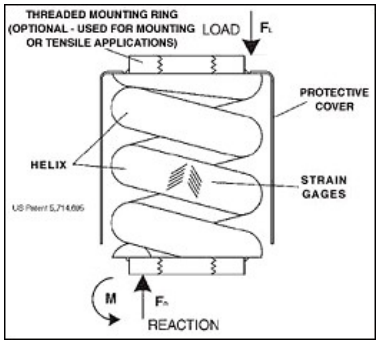
CÉLULAS DE CARGA COM EXTENSÔMETROS



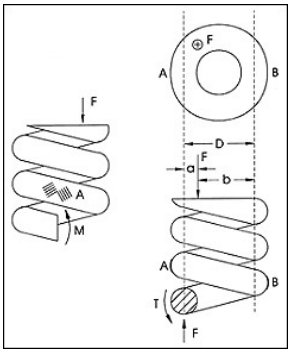




MODELAGEM







$$\tau = \tau_A + \tau_B$$

$$\tau = \frac{F}{A} - \frac{Far}{J} + \frac{F}{A} - \frac{Fbr}{J}$$

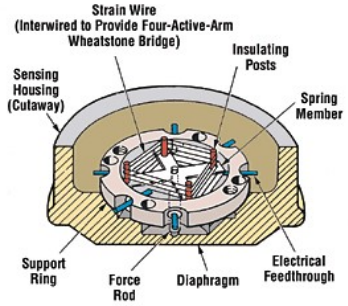
$$\tau = \frac{2F}{A} - \frac{FrD}{J} = kF$$

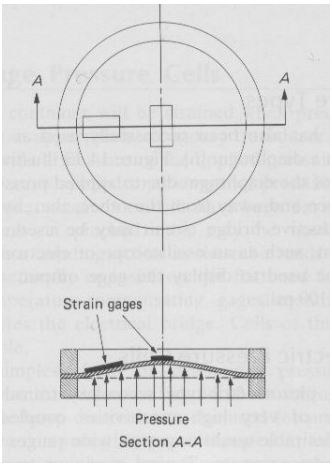
onde

$$k = \frac{2}{A} - \frac{rD}{J} = \text{constante geométrica (não depende do alinhamento)}$$

85

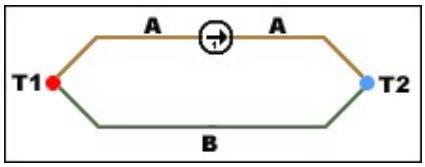
TRANSDUTOR DE PRESSÃO COM EXTENSÔMETROS





MEDIDORES ELÉTRICOS DE TEMPERATURA
TERMOPARES (TC - THERMOCOUPLE)

- Efeito de *Seebeck*: se dois condutores metálicos A e B (metais puros ou ligas) formam um circuito fechado e portanto duas junções AB, aparecerá uma força eletromotriz termoelétrica e uma corrente percorrerá o circuito se cada uma das junções estiver a temperaturas T1 e T2 distintas. A este conjunto de dois elementos chama-se **Termopar**.
- A **f.e.m. termoelétrica** é função do tipo de metais ou ligas metálicas A e B e das temperaturas T1 e T2
- A seleção de metais para os termopares é normalmente feita com base nas condições de aplicação. Ligas metálicas relativamente baratas (com base em Fe, Ni, Cr, etc.) podem ser usadas a temperaturas moderadas (até cerca de 1000°C), mas para temperaturas muito superiores (1500-1700°C) são necessários termopares à base de ligas ricas em platina.





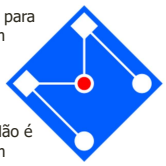
87

Tipos de Termopares
T, E, J, K
S, R, B

Características individuais para os termopares industriais

1- Termopar tipo T – cobre (+) x constantan (-)

Estes termopares são resistentes à corrosão em atmosferas úmidas e indicados em também para medição de temperaturas a baixo de zero. Seu limite superior é 370°C, pode ser utilizado em atmosfera oxidantes redutoras ou inertes.



2- Termopar tipo J – ferro (+) x contantan (-)

São apropriados para medição em vácuo e atmosfera, oxidantes, redutores e inertes em temperaturas que chegam até 160° C.A taxa de oxidação do ferro é alta a partir de 560°C. Não é recomendado o uso deste termopar com elementos NÚS em atmosferas acima de 540°C. Em algumas ocasiões este termopar é utilizado para medir temperaturas abaixo de zero, porém a possibilidade do aparecimento de oxidação de ferro, faz com que seja menos indicado do que o tipo T.

3- Termopar tipo K – cromel (+) x Alumel (-)

São recomendados para uso contínuo em atmosferas inertes ou oxidantes, em temperaturas até 1300°C. Podem ser utilizados para medições de até **-250°C**., Não podem ser utilizados no vácuo, exceto por curtos períodos pois ocorre variação do cromo, alterando a calibração do termopar.

1- Termopar tipo E- Cromel (+) x (-)

São recomendados para faixa de -200°C à 1000°C, em atmosfera inertes ou oxidantes.

2- Termopares Nobres

São os termopares de tipo S, R e B. São considerados nobres, pois são compostos de platina, cujo custo é bastante elevado.

Tipos:

S: platina-rhodium 10% (+) x platina (-)

R: platina-rhodium 13% (+) x platina (-)

São recomendados para uso contínuo em atmosferas oxidantes ou inertes, a temperaturas que chegam até 1400°C, altas causa um excessivo desgaste que pode romper o termopar.

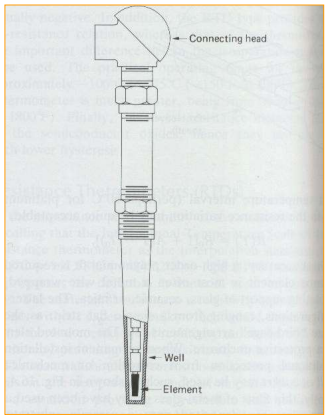
Tipo **B** – platina- rhodium 30% (+) platina-rhodium 6% (-)

São utilizados em atmosferas inertes ou oxidantes à temperatura limite de 1704°C, são recomendados para trabalhar no vácuo até a temperatura limite.

88

Medidor elétrico de temperature por variação de resistência (condutores)

•Termômetros RTD
(Resistance Temperature Detectors)
http://www.branom.com/literature/rtd.html
No mesmo ano em que Seebeck fez sua descoberta sobre a termoeletricidade, Sir Homphrey Dovy descobriu que a resistividade dos metais, apresentava uma dependência física para com a temperatura (a variação do movimento aleatório dos elétrons livres nos metais, varia a resistividade dos mesmo).
Cinqüenta anos depois, Sir William Siemens propôs o uso da platina, como sensor nos termômetros de resistência. Sua escolha mostrou-se bastante apropriada, pois até hoje os resistores de platina são utilizados como elementos primários na medição de temperaturas com alta precisão.
Platina é excelente para este propósito, dado que ela pode resistir altas temperaturas mantendo a sua estabilidade.



RTD de platina mede com alta precisão entre -259,35°C e 961,78°C

$$R(T) = R_0\left[1 + A(T - T_0) + B(T - T_0)^2\right]$$

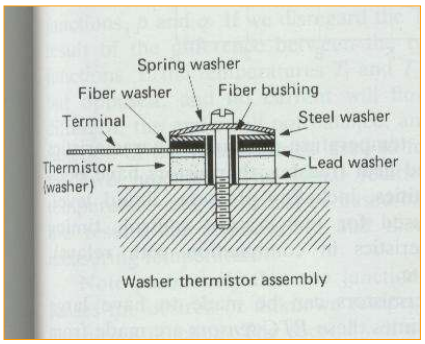
89

Medidor elétrico de temperature (semi-condutor)

Termistor

Semi-condutor cerâmico: diminui sua resistência elétrica com o aumento da temperatura

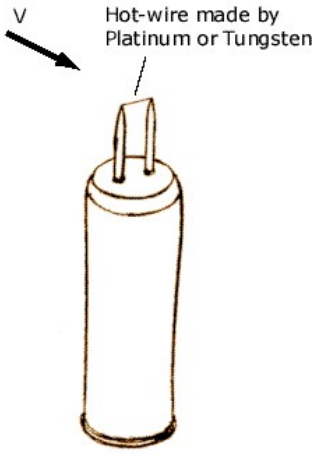
Bastante sensível



$$R(T) = R_0 \exp\left[\beta(1/T - 1/T_0)\right]$$

90

MEDIDOR ELÉTRICO DE VELOCIDADE DE FLUIDO (ANEMÔMETRO)



Fluxo de calor é alterado com a vazão
Anemômetros do tipo *hot-wire* → fluxo diminui temperatura → resistência elétrica diminui
Lei de King →

$$e_0 = A + B\sqrt{\rho V}$$

e_0=voltagem de alimentação da ponte
A, B = constantes
ρ = densidade de fluido
V = velocidade

91

A resistência elétrica é dada por

$$I^2 R_w = h \cdot A_w \left(T_w - T_f\right)$$

A resistência do fio também é função da temperatura

Lei de King $R_w = R_{Ref}\left[1+\alpha\left(T_w - T_{Ref}\right)\right]$

Segue a velocidade do fluido

$$h = a - b \cdot v_f^c$$

http://www.efunda.com/designstandards/sensors/hot_wires/hot_wires_theory.cfm

$$v_f = \left\{\left[\frac{I^2 R_{Ref}\left[1+\alpha\left(T_w - T_{Ref}\right)\right]}{A_w\left(T_w - T_f\right)} - a\right] \Big/ b\right\}^{1/c}$$

-alta resposta em freqüência
(10 a 400kHz)
-alta resolução
-alto custo
-frágil
-precisa calibração constante devido a acúmulo de sujeira

92

ANEMÔMETRO VIA SENSOR DE TEMPERATURA

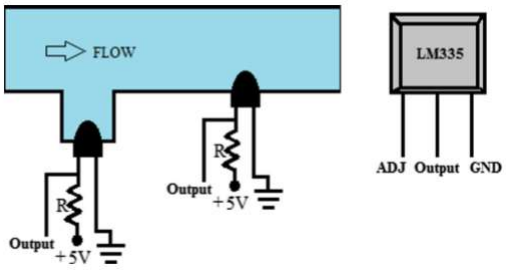
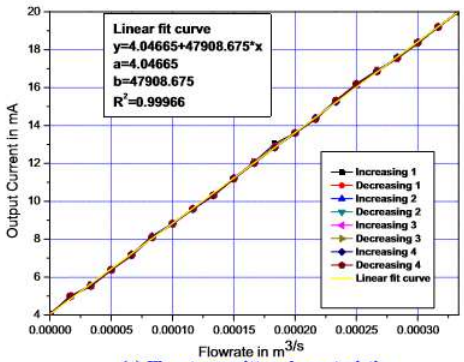


Fig. 1. (a) Mounting of LM335 in the flow head (b) LM335 pin configuration.

Contents lists available at ScienceDirect
Measurement
journal homepage: www.elsevier.com/locate/measurement

Anemometric type flow transmitter using LM335 – A temperature sensing IC

G. Rajita, A. Lata, N. Mandal *



(a) Flow transmitter characteristic

not produce any obstruction to the flowing fluid. Two IC units are supplied from the same stabilized 5 V DC source. LM335 is a 2-terminal zener and provides a break down voltage directly proportional to absolute temperature. The device operates over a current range of 400 μA–5 mA with less than 1 Ω dynamic impedance. The DC voltage developed from the IC has been found to be related with fluid flow rate. The voltage signals developed for two horizontal IC's has been subtracted from each other and this voltage is assumed to be a function of fluid flow rate. The differential op-amp output voltage is of mV signal range. An instrumentation amplifier along with signal conditioning circuit converts this into 1–5 V signal. The function of the flow sensor has been theoretically analyzed and its characteristic equations have been derived. To find the characteristics of the flow sensor experiment has been performed. The analysis of operation of the system is described below.

Transdutores elétricos de passagem, posição

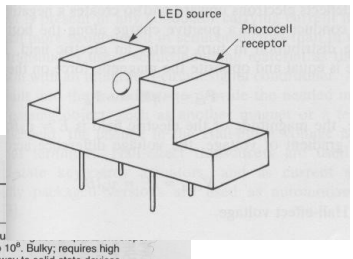
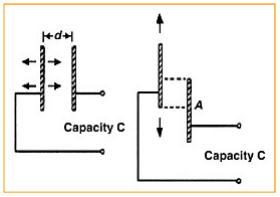


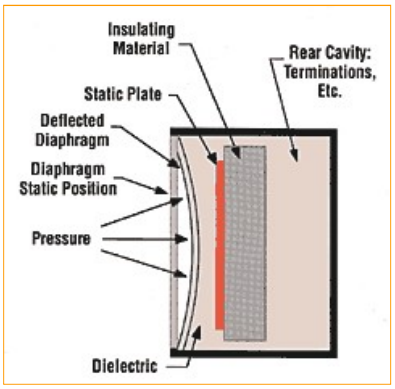
Table 6.2 Photocells

Type	Symbol and Typical Circuit	Form of Output	Relative Frequency Response	Comments
A. Photoemissive or Photomultiplier	Load	Current	Extremely fast	Cathode-anode in evacu… PMT gain can be 10^3 to 10^8. Bulky; requires high voltage; and has given way to solid-state devices.
B. Photoconductive (or photoresistive)	AC or DC, Load	Resistance change	Slow	Light-sensitive resistor. Increased light intensity causes reduced resistance.
C. Photovoltaic (solar cell)	Out	Voltage	Fast	Typical open-circuit voltage, 0.45 V. In bright sunlight, 0.4 to 0.5 mA.
D1. Photodiode (PN junction) D2. PIN photodiode	Load	Current	Very fast	Primary disadvantage is low output current. "Dark current" very low (nanoampere range), but not zero. PIN diode has "intrinsic" layer between P and N layers that provides response over wider range of light wavelengths. PIN is faster than PN type.
E1. Phototransistor	Load	Current	Slower than photodiode	Produces much higher current for given input than photodiode does because of its amplifying ability. Base lead, if accessible, is seldom used.
E2. Photodarlington	Load	Current	Slower than phototransistor	Much more sensitive than phototransistor.

Transdutores elétricos de capacitância

- Detectores de distância
- Detectores de nível
- Detectores de passagem



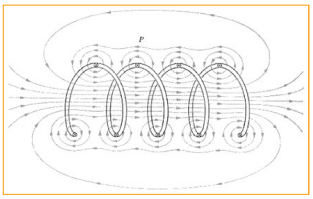


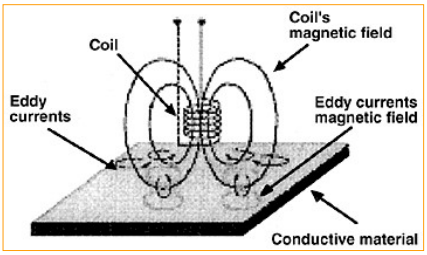
$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r A}{d}$$

Circuitos atuais podem detectar até 1f F

Transdutores elétricos de indutância

- Medidores de deslocamento

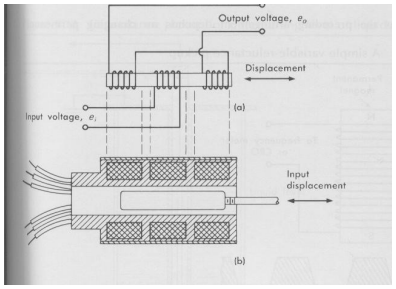


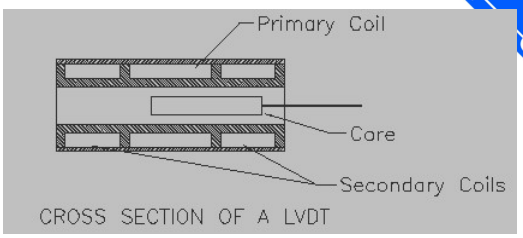


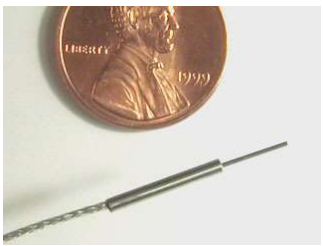
Fluxo magnético devido a corrente de Eddy se opõe àquele da bobina

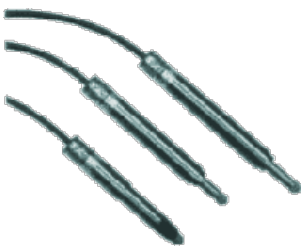
Impedância da bobina muda de acordo com distância bobina-alvo

L.V.D.T.





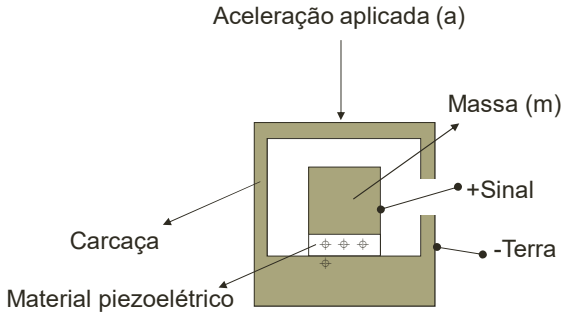




Transdutores elétricos de geração de carga elétrica

•Piezoelétricos

- •Cristal (quartzo)
- •Cerâmicos
- •Polímeros



Acumulação de partículas carregadas no cristal.

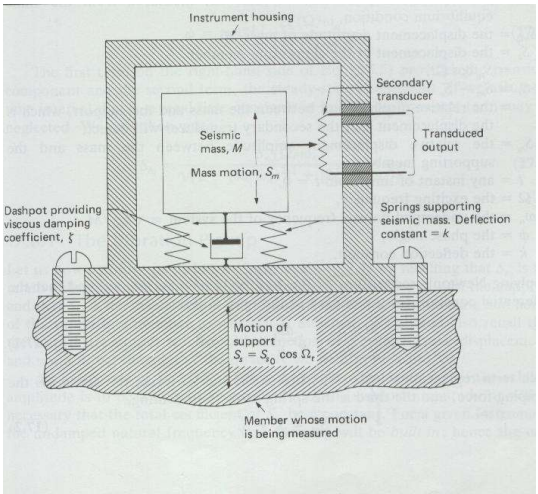
$V=Gh\sigma$
h=espessura
σ=*tensão*
G=0.055 mV/N (quartzo)
G=0.22 mV/N (polivinilideno fluorídico)

$$++ \propto F \propto a$$

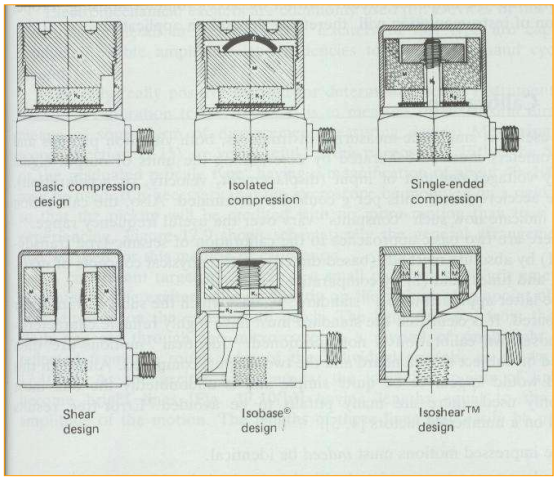
O sinal elétrico de saída é proporcional (Sensibilidade) à aceleração aplicada

MEDIDORES DE MOVIMENTO (VIBRÔMETROS E ACELERÔMETROS)



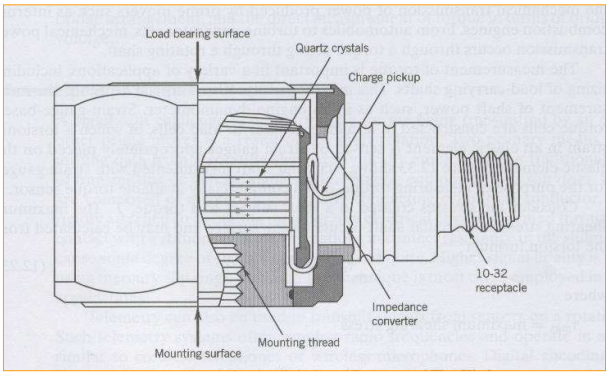


ACELERÔMETROS COM QUARTZO



101

CÉLULA DE CARGA COM QUARTZO



102

TRANDUTORES MEMS (MICRO ELECTRO MECHANICAL SYSTEMS) OU MST (MICROSYSTEMS TECHNOLOGY)

Acelerômetros capacitivos (mais comuns)

Piezoresistivos

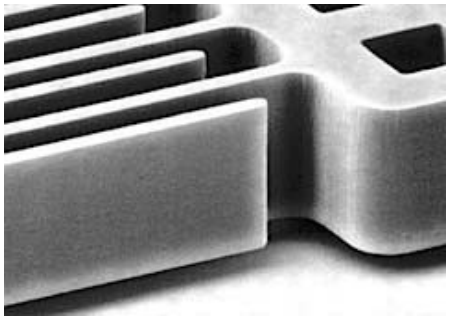
Electromagnéticos

Piezoeléctricos

Ferroelétricos

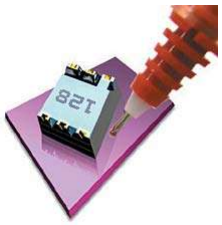
Ópticos

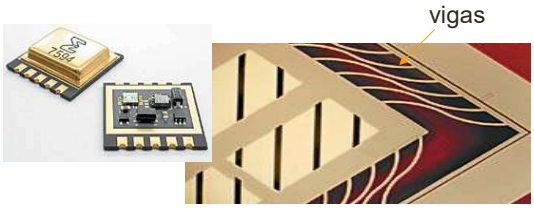
tunneling



MICRO-ACELERÔMETRO CAPACITIVO

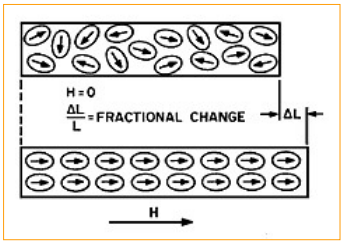
Massa inercial suspensa por vigas flexíveis
Movimento da massa inercial retilíneo
Massa inercial é parte de um capacitor variável
Distância entre placas do capacitor de 3,6μm →0,003pF/g
Amortecimento com gás → resposta em frequência de 11kHz

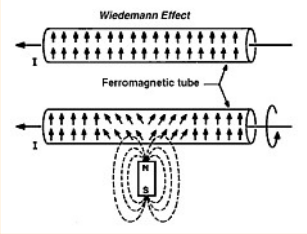




TRANSDUTORES MAGNÉTICOS

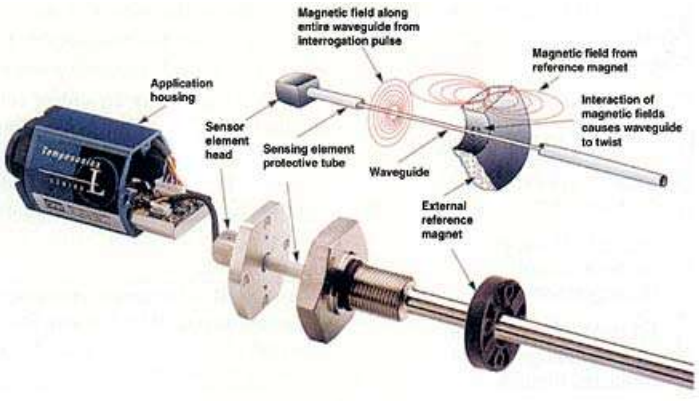
Magneto-estricção => alguns materiais ferromagnéticos alteram sua forma quando expostos a campo magnético



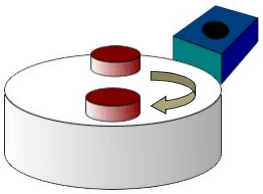


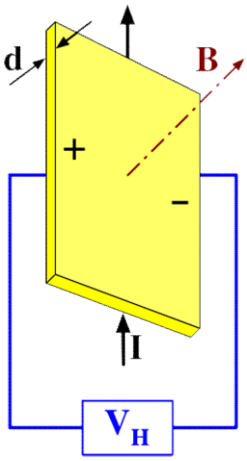
1. Sinal elétrico é aplicado
2. Onda de torção é gerada no ímã
3. Onda retorna ao sensor
4. Tempo entre sinal elétrico e onda torsional é medido
5. Distância entre ímã (flutuante) e sensor é igual a tempo medido vezes velocidade da onda torsional na haste

APLICAÇÃO: SENSOR DE NÍVEL



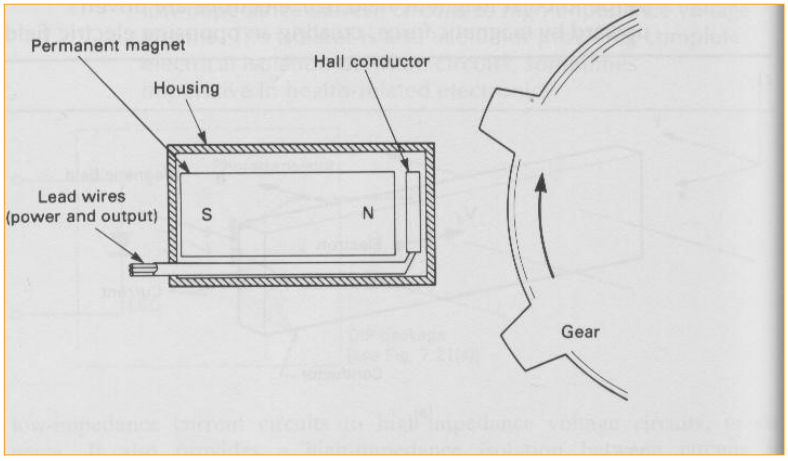
Efeito de Hall – voltagem transversal em um condutor perpendicular a um campo magnético
Usado como sensor de proximidade e também como medidor de espessura - ideal para medições precisas em áreas críticas, como entalhes.





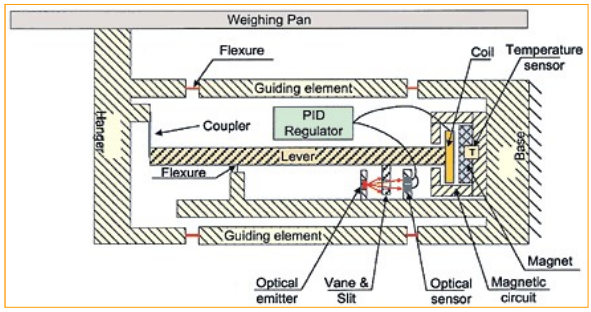
VH = IB/(den) where *VH* is the voltage across the width of the plate, *I* is the current across the plate length, *B* is the magnetic field, *d* is the depth of the plate, e is the electron charge, and *n* is the bulk density of the carrier electrons.

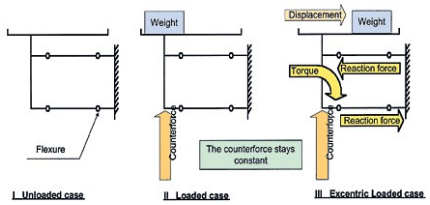
107



108

BALANÇA ELETRO-MAGNÉTICA



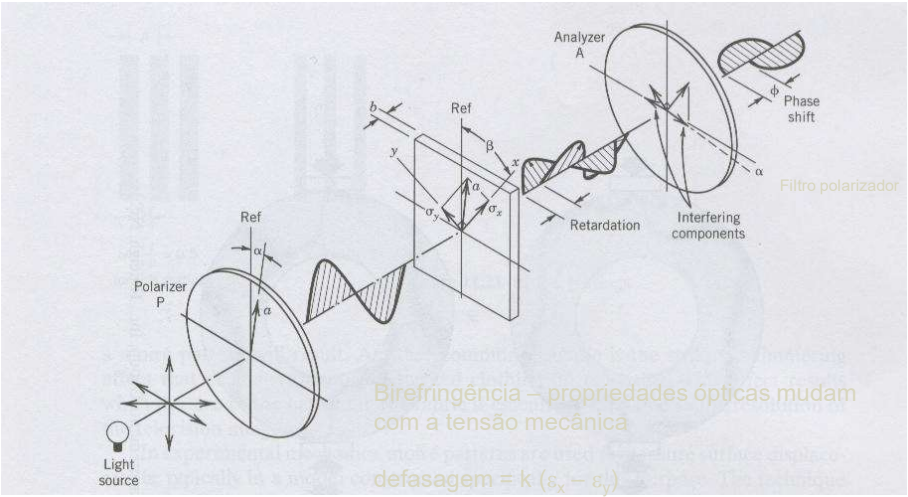


Mecanismo de Roberval
Forma de paralelograma
É mantida independente
Da posição da carga

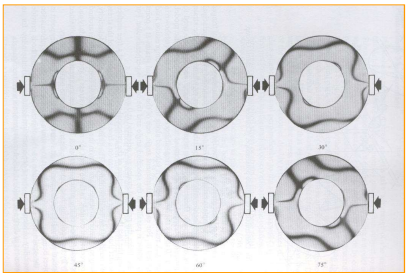
10 a 1000 vezes mais acuradas que as com extensômetro

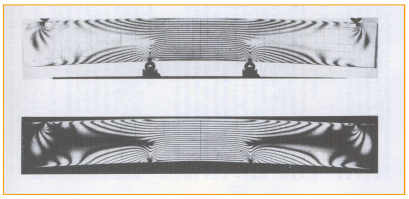
Resoluções de até 50 milhões de dígitos

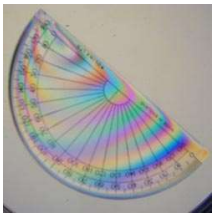
Transdutores ópticos de cor
Foto-elasticidade



FOTOELASTICIDADE





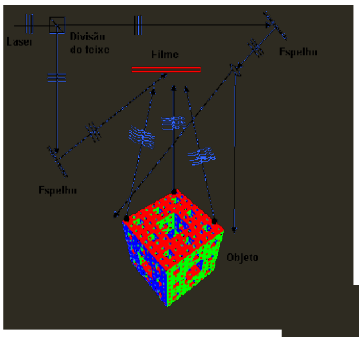


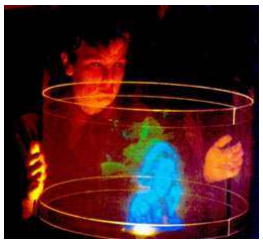


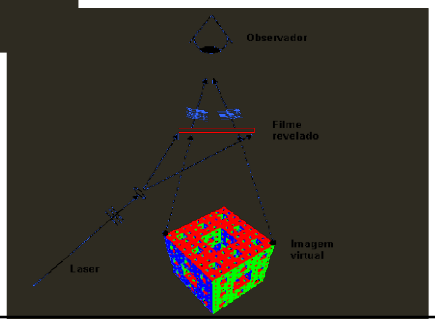
Transdutores ópticos de padrão

•Holografia

Os hologramas são imagens em três dimensões, como os coloridos emblemas de segurança nos cartões de crédito e nas embalagens de CD.
Tal como a fotografia, a holografia é uma técnica para registrar em filme a informação relativa a um objeto ou cena. Entretanto, os mecanismos básicos utilizados, bem como a natureza das imagens produzidas, diferem bastante de uma para outra. A fotografia comum produz uma representação bidimensional do objeto, na qual a profundidade da cena termina no plano de impressão. A holografia, ao contrário, capta a informação em três dimensões: inclui a profundidade.







http://br.geocities.com/saladefisica

Transdutores ópticos de padrão



•Projetor de perfil

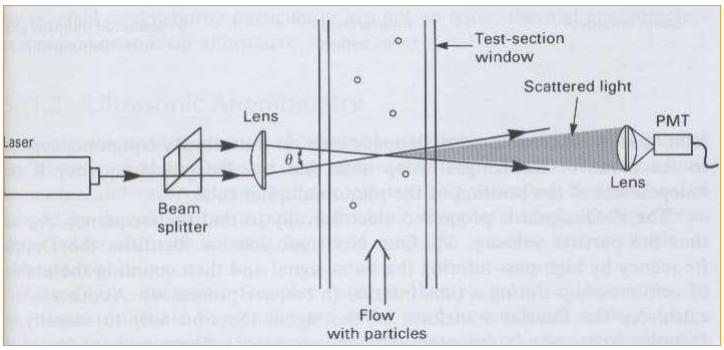
TERMOGRAFIA



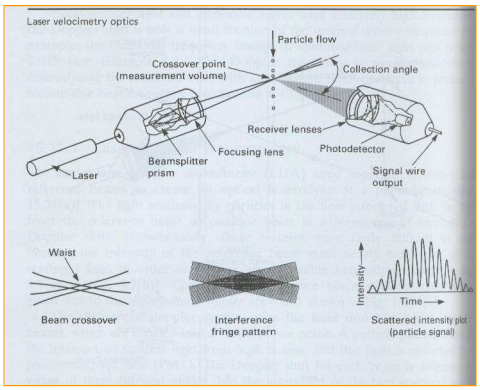
Transdutores ópticos de freqüência

- Partículas dispersam o laser
- Intensidade e frequência do laser disperso varia com a passagem da partícula
- f_D deve ser medido (contando ou usando FFT)
- Volume de controle elíptico (0,1 a 1mm na maior direção)

•Laser Döpler



Laser Döpler



$$\delta = \frac{\lambda}{2sen(\theta/2)}$$

$\delta = espaçamento\ entre\ franjas$

$\lambda = comprimento\ de\ onda\ do\ laser$

$\theta = ângulo\ entre\ feixes$

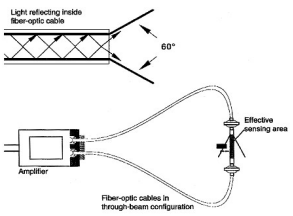
$$f_D = \frac{V_x}{\delta} = \frac{2V_x}{\lambda} sen(\theta/2)$$

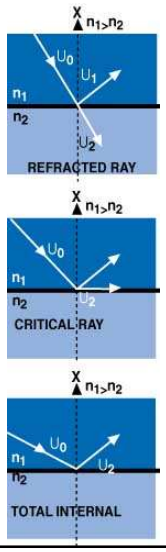
$f_D = alteração\ da\ frequência\ (efeito\ de\ Doppler)$

$V_x = velocidade\ da\ partícula$

TRANSDUTORES ÓPTICOS

Fibra óptica



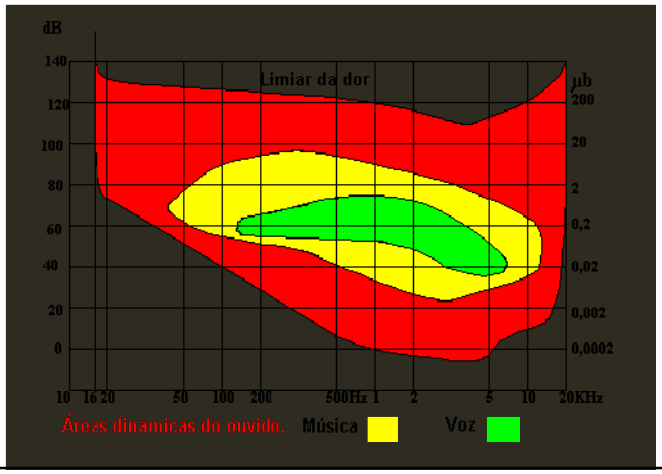


$$dB = 10\log\left(\frac{power_1}{power_2}\right) = 10\log\left(\frac{p_1^2}{p_0^2}\right)$$

$$dB = 20\log\left(\frac{p_1}{p_0}\right)$$

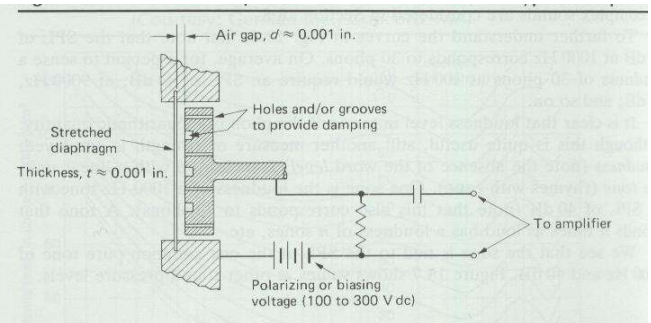
$$p_0 = 20\mu N/m^2$$

Transdutores acústicos



Pressão do som 2 x 10^{-5} N/m^2	dB	Intensidade do som 10^{-12} W/m^2	Exemplos típicos
63,2	130	10	limiar da percepção
20	120	1,0	grande avião a jato
6,3	110	0,1	grande orquestra
2,0	100	0,01	arrebitamento
0,63	90	10^{-3}	trem
0,2	80	10^{-4}	escritório ruidoso
0,063	70	10^{-5}	motor de carro
0,02	60	10^{-6}	discurso
6,3 x 10^{-3}	50	10^{-7}	escritório médio
2 x 10^{-3}	40	10^{-8}	escritório quieto
6,3 x 10^{-4}	30	10^{-9}	biblioteca
2 x 10^{-4}	20	10^{-10}	sussurro
6,3 x 10^{-5}	10	10^{-11}	sussuro bem baixo
2 x 10^{-5}	0	10^{-12}	limiar da audibilidade (a 1000 Hz)

MICROFONE CAPACITIVO (ALTA FIDELIDADE)



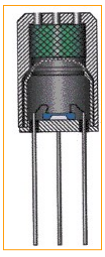
Transdutores químicos

Exemplo: detector de CO

CO interage com O_2 do sensor

Libera CO_2 e elétrons

que se impregnam no filme sensor aumentando sua condutividade e diminuindo sua resistência



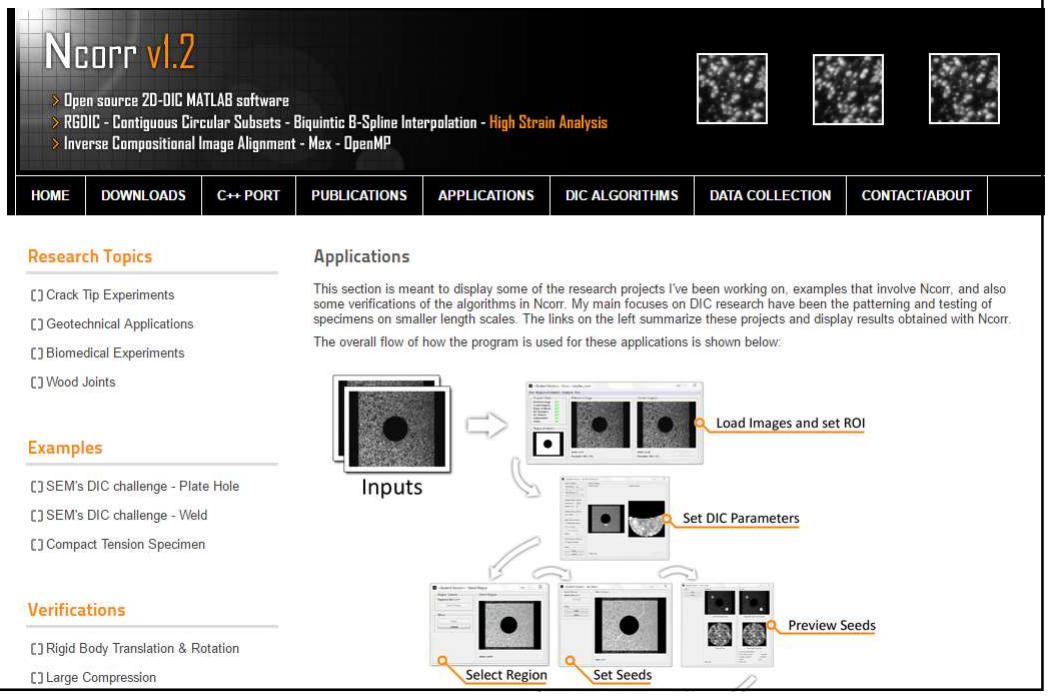


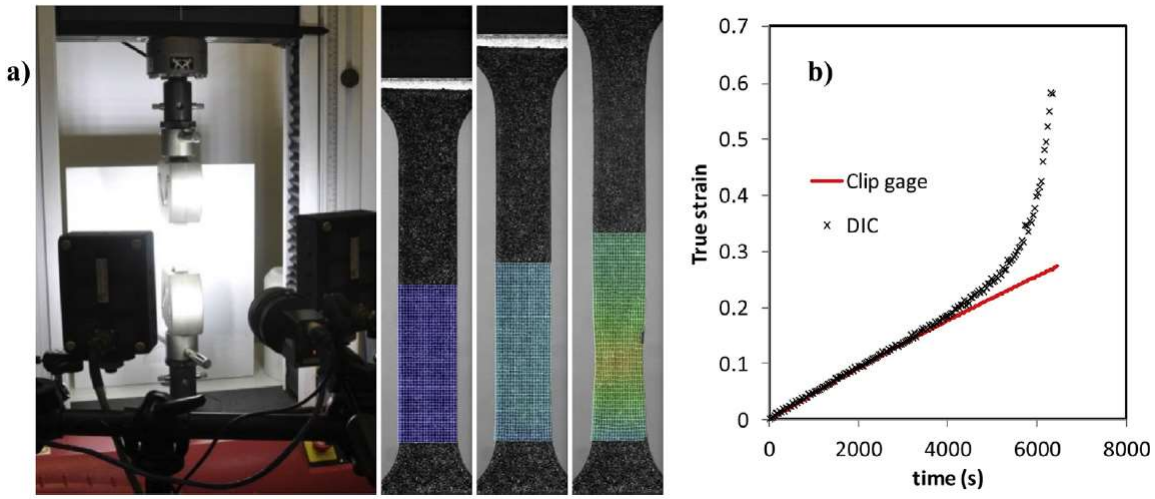
Transdutores biológicos

- Luciferese: enzimas em certos organismos luminosos são usadas para detectar níveis (bem baixos) de metabólicos

- Musgos e plantas identificam poluição

SENSORES DE IMAGEM DIC





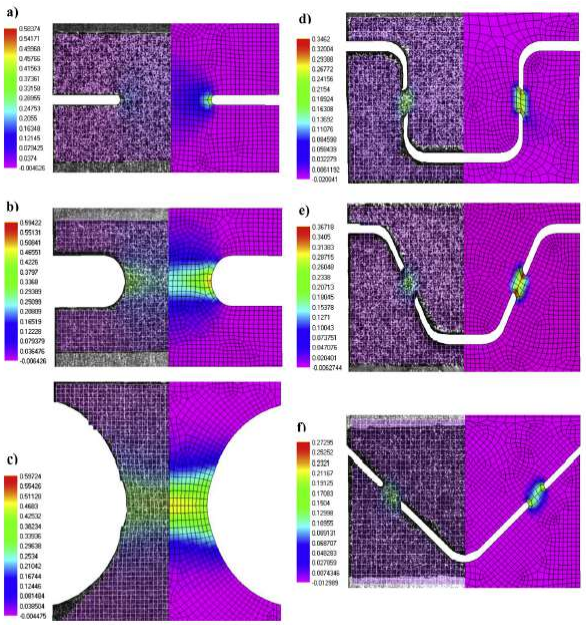


Fig. 7. Plastic strain fields obtained from (left) experimental DIC and (right) numerical analysis for a) notch A, b) notch B, c) notch C, d) shear A, e) shear B and f) shear C samples at maximum load.

SENSORES RFID

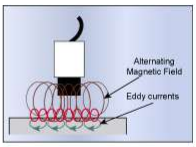




EDDY CURRENT SENSORS

Basic Theory

Eddy-Current sensors operate with magnetic fields. The driver creates an alternating current in the sensing coil in the end of the probe. This creates an alternating magnetic field with induces small currents in the target material; these currents are called eddy currents. The eddy currents create an opposing magnetic field which resists the field being generated by the probe coil. The interaction of the magnetic fields is dependent on the distance between the probe and the target. As the distance changes, the electronics sense the change in the field interaction and produce a voltage output which is proportional to the change in distance between the probe and target. The target surface must be at least three times larger than the probe diameter for normal, calibrated operation; otherwise, special calibration my be required.



http://www.lionprecision.com/eddy-current-sensors/index.html

Breaks https://en.wikipedia.org/wiki/Eddy_current_brake