Física Experimental Básica: Mecânica

Aula 1

Introdução ao laboratório

Conteúdo da aula:

- Página da disciplina
- Objetivos e estrutura da disciplina
- Grandezas físicas e unidades
- Instrumentos de medição
- Algarismos significativos
- Incerteza de uma medição

Página da disciplina

A página

https://www.fisica.ufmg.br/ciclo-basico/disciplinas/feb-mecanica/

contém informações gerais da disciplina, e disponibiliza as aulas introdutórias, roteiros dos experimentos, tutoriais para utilização dos programas gráficos adotados, além de materiais complementares.

Objetivos da disciplina

- Esta é uma disciplina de introdução à física experimental com o foco em experimentos de mecânica.
- O objetivo principal é desenvolver as habilidades em tópicos essenciais à toda atividade experimental:
  - Utilização de instrumentos de medição.
  - Métodos de medição de grandezas físicas de forma direta e indireta.
  - Introdução ao conceito de incerteza de uma medição: suas origens, sua avaliação e apresentação.
  - Construção e análise de gráficos a partir de dados experimentais.
  - Discussão e avaliação crítica dos resultados obtidos em comparação com o modelo teórico e a partir dos métodos de medição empregados.
  - Descrição organizada e clara do trabalho experimental.

Programa

- **Aula 1**: Introdução ao laboratório
- **Aula 2**: Propagação de incertezas e gráficos
- **Aula 3**: Experimento coletivo: Pêndulo simples
- **Aulas 4 a 11**: Experimentos <u>em dupla</u>:
- **Aula 12**: Prova experimental <u>individual</u>:
  - Módulo de flexão de uma haste.

ATENÇÃO!

- A distribuição de pontos é definida pelo(a) professor(a). **Consulte o plano de ensino da sua turma.**
- **Não há exame especial** para as disciplinas de Física Experimental Básicas, conforme a Resolução Nº 001/2015 votada e aprovada pela Câmara Departamental do Departamento de Física em 03 de agosto de 2015.

Programa

Lista de experimentos* (Aulas 4 a 11)	Sala
1. Constante elástica de molas	2067
2. Oscilação de um sistema massa-mola**	2067
3. Densidade de um líquido	2068
4. Deformação elástica de uma haste**	2068
5. Colisão inelástica	2068
6. Forças impulsivas	2052
7. Movimento de um projétil	2053
8. Movimento retilíneo com aceleração constante	2053

* A sequência de experimentos depende do código da turma (próximos slides).

** Estes experimentos poderão ser usados para uma prova em dupla.

Formação de duplas

- Os experimentos 1 a 8 são realizados em dupla. Portanto, os alunos devem se dividir em duplas que podem ser identificadas, por exemplo, por números.

- Esta identificação permite, entre outras coisas, estabelecer um critério para a realização dos experimentos 7 e 8, os quais possuem apenas seis montagens cada.

- As atividades ao longo do semestre são realizadas em diversas salas, como mostrado na tabela a seguir.

- Formem duplas e comuniquem ao(à) professor(a), idealmente até a segunda aula.

Locais e sequência de atividades

Turmas					
Ímpar ou A *(exemplos: PR1, PU7A)*			**Par ou B** *(exemplos: PR2, PU7B)*		
Aulas	**Atividades**	**Sala**	**Aulas**	**Atividades**	**Sala**
1 a 3	Metodologias	2067	1 a 3	Metodologias	2068
4	Experimento 1	2067	4	Experimento 3	2068
5	Experimento 2	2067	5	Experimento 4	2068
6	Experimento 3	2068	6	Experimento 1	2067
7	Experimento 4*	2068	7	Experimento 2*	2067
8	Experimento 5	2068	8	Experimentos 7/8**	2053
9	Experimento 6	2052	9	Experimentos 7/8**	2053
10	Experimentos 7/8**	2053	10	Experimento 5	2068
11	Experimentos 7/8**	2053	11	Experimento 6	2052
12	Prova experimental	2067/2068	12	Prova experimental	2052/2053

* Estes experimentos poderão ser usados para uma prova em dupla.

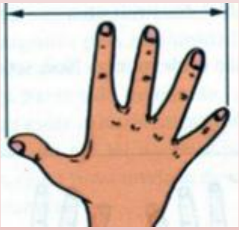
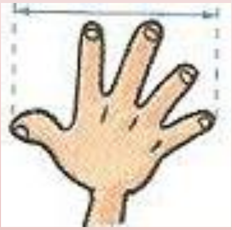
** A critério do professor, metade das duplas começa com o experimento 7 e a outra metade, com o 8. Na semana seguinte, inverte-se a ordem.

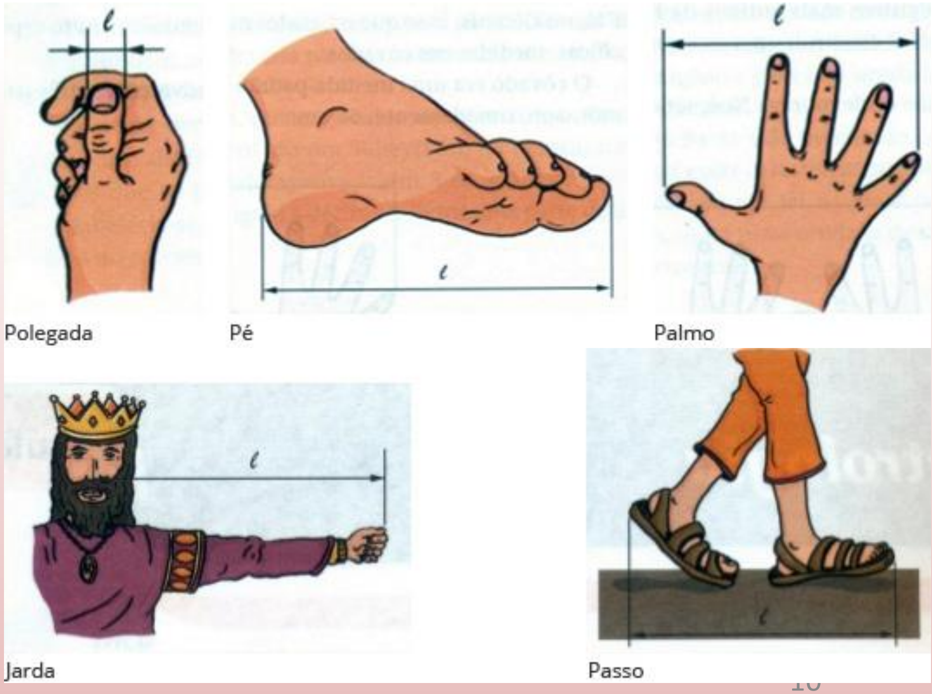
Grandezas físicas e unidades de medida

Grandezas físicas e unidades de medição

- Uma **grandeza física** é definida ao atribuirmos a ela um significado preciso e uma unidade de medição.
- **Medir** é determinar o valor de uma grandeza em termos do valor de uma unidade estabelecida por meio de um padrão

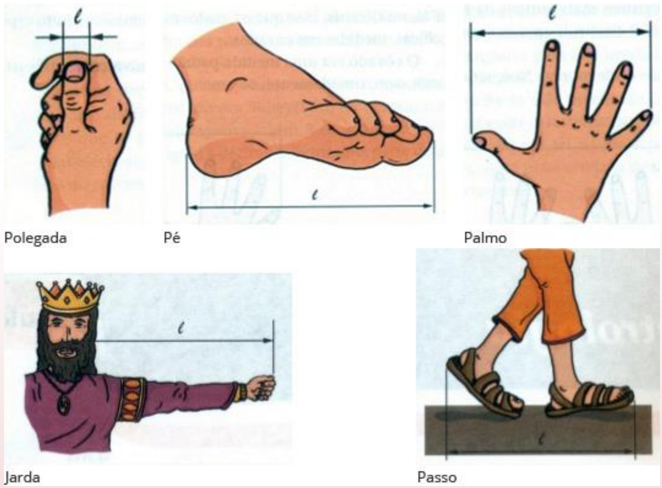
Exemplo: as primeiras formas de se medir o <u>comprimento</u> tomavam como unidade partes do corpo humano.

$3 \times$  $= 3 \times$  ?



Grandezas físicas e unidades de medição

- Para que seja possível avaliar, reproduzir ou comparar os resultados de uma medição, as unidades devem ser definidas através de padrões acessíveis e invariantes.



Estes padrões de comprimento são acessíveis, mas não invariantes.

- Um **Sistema de Unidades** eficaz deve conter um número (pequeno) de grandezas físicas fundamentais com unidades padronizadas, que servirão de base para definirmos as unidades das demais grandezas.

Sistema Internacional de Unidades

No Sistema Internacional de Unidades (SI), as grandezas fundamentais e suas respectivas unidades são as seguintes:

Unidades Fundamentais do SI:

Grandeza	Nome	Símbolo
comprimento	metro	m
tempo	segundo	s
Massa	quilograma	kg
Quantidade de matéria	mol	mol
Corrente elétrica	ampère	A
temperatura	Kelvin	K

→ Lab. Mecânica

Exemplo: o metro é definido como a distância percorrida pela luz no vácuo em um intervalo de tempo de $\frac{1}{299.792.458}$ do segundo.

Sistema Internacional de Unidades

- Para grandezas que são combinações das fundamentais, as unidades no SI dependem da combinação. **Exemplo:**

$$[\text{aceleração}] = \left[\frac{\text{comprimento}}{\text{tempo} \times \text{tempo}}\right] = \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right].$$

- Algumas unidades do SI derivadas das unidades fundamentais têm nome e símbolo próprios. Exemplos:

Grandeza	Nome da Unidade Derivada no SI	Símbolo	Equivalências
Frequência	hertz	Hz	1 Hz = 1 s^{-1}
Força	newton	N	1 N = 1 kg.m/s^2
Pressão, tensão mecânica	pascal	Pa	1 Pa = 1 N/m^2
Energia, trabalho, quantidade de calor	joule	J	1 J = 1 N.m
Potência e fluxo de energia	watt	W	1 W = 1 J/s
Carga elétrica	coulumb	C	1 C = 1 A.s
Potencial elétrico, diferença de potencial, tensão elétrica, força eletromotriz	volt	V	1 V = 1 J/C
Capacitância	farad	F	1 F = 1 C/V
Resistência elétrica	ohm	Ω	1 Ω = 1 V/A

Potências de dez *vs* unidades

- Muitas vezes, encontramos valores muito grandes ou muito pequenos de grandezas físicas expressas no SI.
- Nesses casos, é conveniente usar a notação científica (potência de 10) ou expressar as unidades com o prefixo correspondente.
- Não é necessário decorar todos os prefixos, mas é importante que você saiba associar os de uso mais frequente com a potência de 10 correspondente.

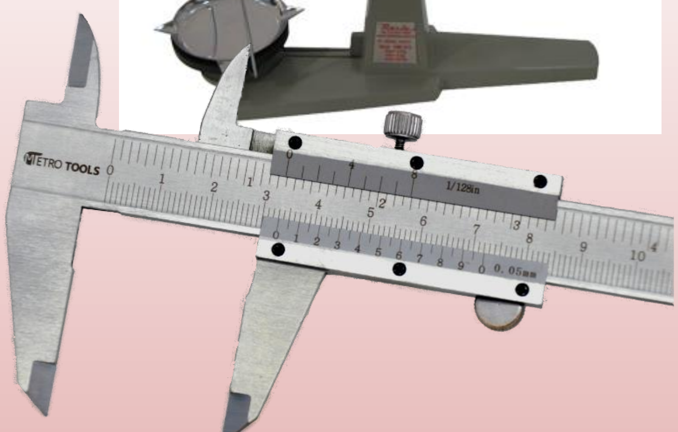
Prefixo		10^n	Equivalente numérico
Nome	Símbolo		
yotta	Y	10^{24}	1 000 000 000 000 000 000 000 000
zetta	Z	10^{21}	1 000 000 000 000 000 000 000
exa	E	10^{18}	1 000 000 000 000 000 000
peta	P	10^{15}	1 000 000 000 000 000
tera	T	10^{12}	1 000 000 000 000
giga	G	10^{9}	1 000 000 000
mega	M	10^{6}	1 000 000
quilo	k	10^{3}	1 000
hecto	h	10^{2}	100
deca	da	10^{1}	10
nenhum		10^{0}	1
deci	d	10^{-1}	0,1
centi	c	10^{-2}	0,01
mili	m	10^{-3}	0,001
micro	µ	10^{-6}	0,000 001
nano	n	10^{-9}	0,000 000 001
pico	p	10^{-12}	0,000 000 000 001
femto	f	10^{-15}	0,000 000 000 000 001
atto	a	10^{-18}	0,000 000 000 000 000 001
zepto	z	10^{-21}	0,000 000 000 000 000 000 001
yocto	y	10^{-24}	0,000 000 000 000 000 000 000 001

Instrumentos de medição

Instrumentos de medição

- Estabelecido um sistema de unidades, é possível desenvolver instrumentos para se medir as grandezas.
- Instrumentos típicos usados no Laboratório de Mecânica.

Mostrador analógico



Mostrador digital

Instrumentos de medição

A **resolução** do instrumento de medição é a menor variação da grandeza medida que é <u>perceptível</u> no mostrador.

Mostrador analógico

A resolução pode ser:

- O valor da menor separação entre duas marcas (traços)
- Uma fração <u>perceptível</u> desta menor separação.

Menor separação
1 mm

Fração perceptível
0,5 mm

Mostrador digital

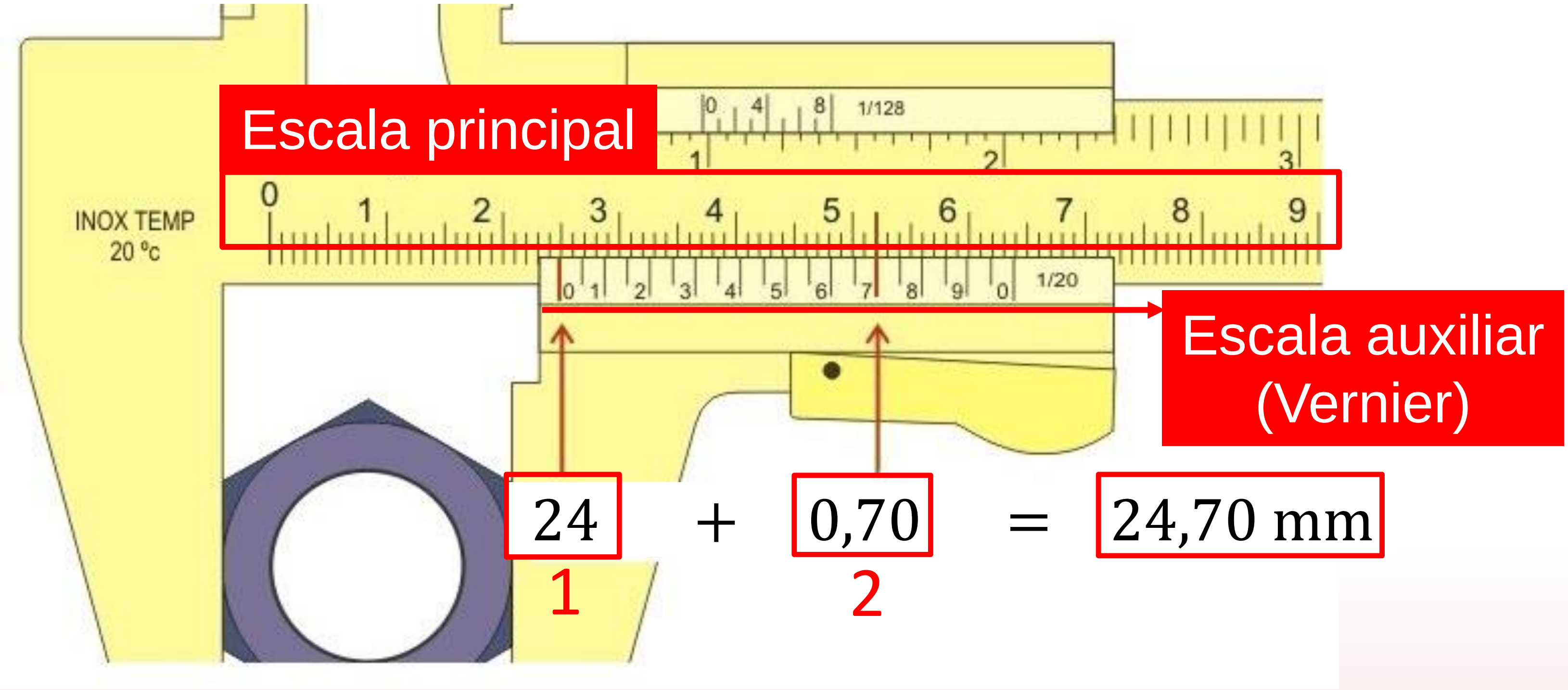
A resolução é o valor do menor incremento da grandeza observado no mostrador.

0,01 s

Paquímetro

- O paquímetro é utilizado para medir dimensões lineares (externas e internas) como comprimento, largura, espessura e profundidade.
- No Laboratório de Mecânica, utilizamos paquímetros com escala em milímetros e resolução de 0,05 mm.
- Esta resolução é dez vezes maior que a de uma régua milimetrada. Portanto, a medição com o paquímetro nos dá uma maior precisão do resultado.
- Como se lê o valor de uma medição usando o paquímetro?

Paquímetro



1. Determine a parte inteira contando o número de traços à esquerda do “zero” da escala auxiliar.
2. Determine a parte decimal verificando qual dos traços da escala auxiliar se alinha com um traço da escala principal.

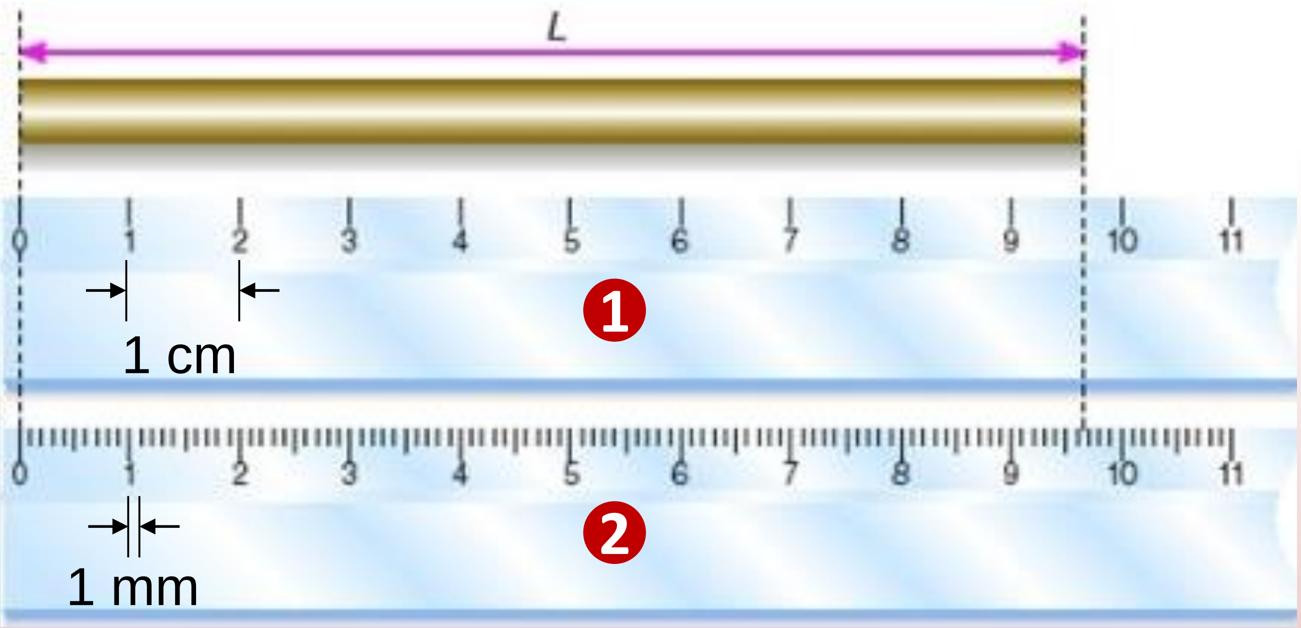
➢ **Utilize o paquímetro em sua bancada para medir alguns objetos.**

Algarismos significativos

Algarismos significativos

Algarismos significativos de uma medição são o conjunto de todos os algarismos corretos mais um algarismo duvidoso.

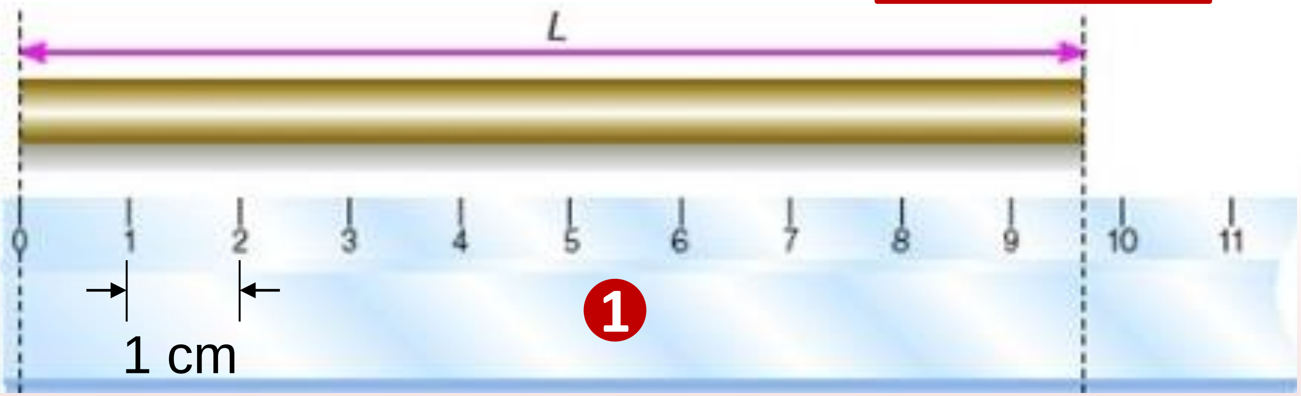
Exemplo: medindo o comprimento de uma barra usando réguas com resoluções diferentes.



Algarismos significativos

Régua 1:

- Extremidade da barra está entre a marca 9 e 10 cm.
- Usando bom senso, estimo que esta extremidade está a 0,6cm de distância da marca 9cm.
- Declaro o resultado da medição como $\boxed{L = 9{,}6\ \text{cm}}$

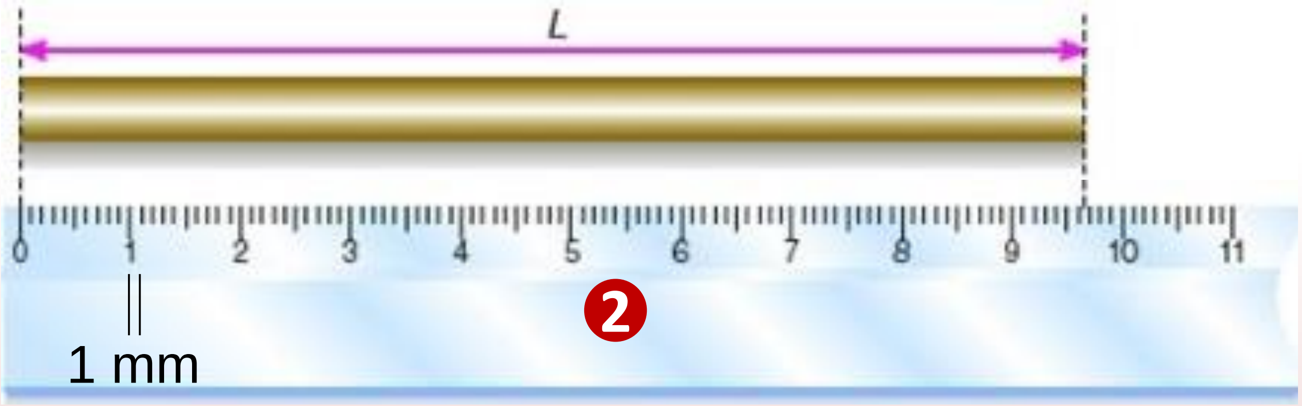


- Neste resultado, 9 é o algarismo correto (não há dúvidas sobre este valor).
- Já o algarismo 6 é duvidoso; outros poderiam estimar um valor ligeiramente diferente.
- Seria incorreto estimar algum valor para a 2ª casa decimal.

Algarismos significativos

Régua 2:

- Extremidade da barra está entre a marca 9,6 e 9,7 cm.
- Estimo o valor da 2ª casa decimal e declaro o resultado da medição como $\boxed{L = 9{,}65\ \text{cm}}$



- Neste resultado, 9 e 6 são os algarismos corretos (não há dúvidas sobre estes valores).
- Já o algarismo 5 é duvidoso e seria incorreto estimar algum valor para a 3ª casa decimal.

Algarismos significativos

Algumas regras:

1. São algarismos significativos todos aqueles contados, da esquerda para a direita, a partir do primeiro algarismo diferente de zero. **Exemplos:**

   - $m = 13{,}3400\ \mathrm{kg}$ $\rightarrow$ seis algarismos significativos;
   - $L = 0{,}2430\ \mathrm{m}$ $\rightarrow$ quatro algarismos significativos;
   - $t = 0{,}0000021\ \mathrm{s}$ $\rightarrow$ dois algarismos significativos.

2. Ao se efetuar mudanças de unidade o número de algarismos significativos não se altera. **Exemplos:**

   - $m = 13{,}3400\ \mathrm{kg} = 13340{,}0\ \mathrm{g}$;
   - $L = 0{,}2430\ \mathrm{m} = 24{,}30\ \mathrm{cm}$;
   - $t = 0{,}0000021\ \mathrm{s} = 2{,}1\ \mu s$.

Algarismos significativos

3. Potências de 10 **não** são parte dos algarismos significativos

- $m = 13{,}3400 \text{ kg} = 13340{,}0 \text{ g} = 1{,}33400 \times 10^4 \text{ g};$
- $L = 0{,}2430 \text{ m} = 24{,}30 \text{ cm} = 243{,}0 \times 10^{-3} \text{ m};$
- $t = 0{,}0000021 \text{ s} = 2{,}1\ \mu s = 2{,}1 \times 10^{-6} \text{ s}.$

4. Regras* (não muito rígidas) para operações aritméticas básicas com algarismos significativos. Todas elas requerem uma dose de bom senso. Exemplos:

   - $v = (2{,}243 \text{ m})/(1{,}4 \text{ s}) = 1{,}6\cancel{02142857} \text{ m/s};$
   - $X = 1{,}2345 + 0{,}12 = 1{,}3545 = 1{,}35$

*Observações:

- O número de algarismos significativos do resultado de uma medição é determinado pela incerteza (próximo tópico).
- Em cálculos intermediários, não se preocupe com essas regras. Faça o truncamento ou arredondamento apenas após conhecer a incerteza.

Incerteza de uma medição

Incerteza de uma medição

- Toda medição está sujeita a alguma incerteza, ou seja, sempre haverá uma margem de dúvida no resultado obtido.
- A incerteza pode ser devida a um ou mais dos seguintes fatores: à resolução finita do instrumento de medição, ao processo utilizado, ao operador, ao ambiente, entre outros.
- A forma mais comum de se expressar o resultado de uma medição é a seguinte:

$$\boxed{(\text{valor da grandeza} \pm \text{incerteza da medição})\ [\text{unidade}]}$$

o que nos dá uma indicação quantitativa da qualidade do resultado.

Incerteza de uma medição

$$\text{(valor da grandeza} \pm \text{incerteza da medição) [unidade]}$$

- A incerteza é fornecida com **um** (ou, no máximo, **dois**) algarismo(s) significativo(s).
- A incerteza determina o número de algarismos significativos do resultado e incide sobre o seu algarismo duvidoso.

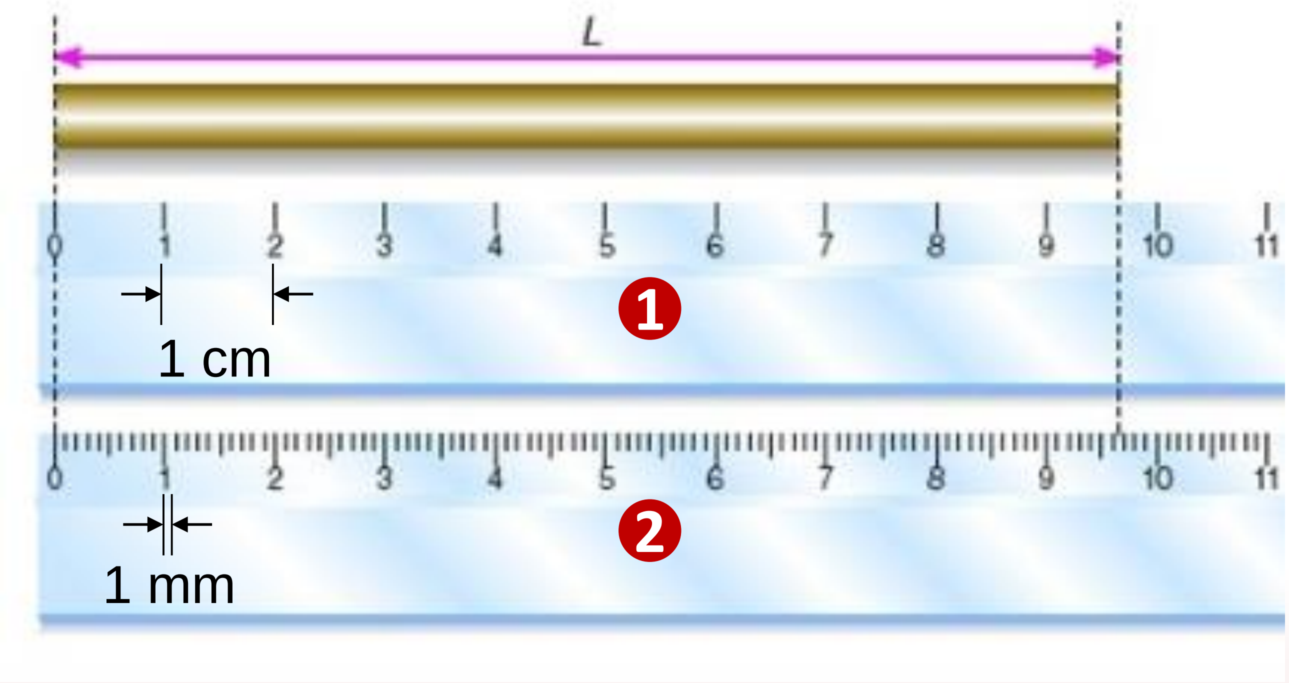
Formas corretas

- $g = (9{,}78 \pm 0{,}05)\ \mathrm{m/s^2}$
- $v = (3{,}839 \pm 0{,}018) \times 10^8 \mathrm{m/s}$ ou $(3{,}84 \pm 0{,}02) \times 10^8\ \mathrm{m/s}$

Formas incorretas

- $g = (9{,}8 \pm 0{,}05)\ \mathrm{m/s^2}$ (resultado incompatível com a incerteza)
- $v = (3{,}84 \pm 0{,}018345) \times 10^8\ \mathrm{m/s}$ (excesso de algarismos)
- $m = (1{,}0374 \pm 0{,}02)\ \mathrm{kg}$ (resultado mais preciso que a incerteza?)

Incerteza na leitura de escalas



- **Régua 1**. Melhor estimativa: $9{,}5 < L < 9{,}7$ cm. Então:

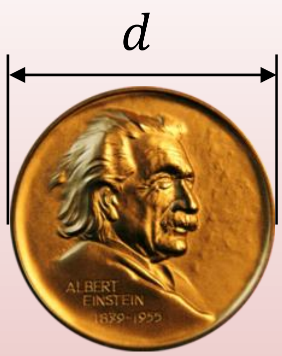
$$L = (9{,}6 \pm 0{,}1)\ \text{cm}.$$

- **Régua 2**. Melhor estimativa: $9{,}60 < L < 9{,}70$ cm. Então:

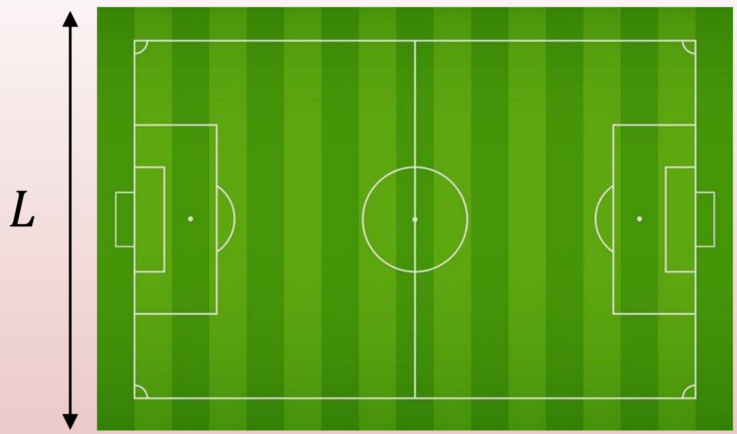
$$L = (9{,}65 \pm 0{,}05)\ \text{cm}.$$

Incerteza na leitura de escalas

- No exemplo anterior, a incerteza da medição coincidiu com a resolução do instrumento.
- Porém, enquanto a resolução é uma característica do instrumento, a incerteza depende do processo de medição.
- **Exemplo**: medindo o diâmetro de uma moeda e a largura de um campo de futebol com uma régua milimetrada.



$\Delta d = 0{,}5\ \text{mm}$



$\Delta L \gg 0{,}5\ \text{mm}$

Incertezas em medições repetidas

- Uma medição nem sempre se restringe à leitura de uma escala.
- Muitas vezes é necessário **repetir** uma medição várias vezes, **sob as mesmas condições**.
- Se uma grandeza *x* é medida *n* vezes e os valores $(x_1, x_2, \ldots, x_n)$ são obtidos, qual o resultado final e sua incerteza?
- Em geral, a melhor estimativa para *x* é seu **valor médio**:

$$x_{\text{médio}} = \bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n} = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} x_j\,,$$

- e a incerteza é o **desvio padrão da média** das observações:

$$\Delta x = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)}\sum_{j=1}^{n}(x_j - \bar{x}\,)^2}\,.$$

Incertezas em medições repetidas

- **Exemplo:** Medida do intervalo de tempo entre o lançamento de um projétil e o instante em que ele toca o chão.
- **Reflita**: a resolução do cronômetro é a maior fonte de incerteza? Uma medição é suficiente para uma boa estimativa do tempo?

$$\bar{t} = \frac{(t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5)}{5} = 1{,}9560\ \mathrm{s}$$

$$\Delta t = \sqrt{\frac{1}{5(5-1)}\sum_{j=1}^{N}(t_j - \bar{t}\,)^2} = 0{,}0260\ s$$

Lançamento	t_j (s)	$[t_j - \bar{t}]$ (s)
1	1,91	-0,046
2	1,89	-0,066
3	2,01	0,054
4	1,95	-0,006
5	2,02	0,064

Declare então:

$$t = (1{,}96 \pm 0{,}03)\ \mathrm{s}$$

Incerteza de uma medição

- Para uma introdução mais detalhada ao tópico "Análise de Incertezas", consulte nosso material de apoio em https://www.fisica.ufmg.br/ciclo-basico/disciplinas/feb-mecanica/

- Comecem a resolver as questões da lista de exercícios relativas ao conteúdo da aula de hoje.

Próxima aula

- Estudaremos a propagação de incertezas em medições indiretas e a análise gráfica de dados experimentais. Recomenda-se a leitura do tutorial do programa de gráficos SciDaViS, disponível na página da disciplina.