

# **Física Experimental: Ondas e Óptica**

## **Aula 1**

### **Introdução ao laboratório**

### **Ensino Remoto Emergencial**

# Conteúdo desta aula:

- Objetivos e Funcionamento..... slides 3 – 5
- Estrutura das aulas..... slides 6 – 7
- Unidades Internacionais ..... slides 6 – 8
- Algarismos significativos ..... slides 9 – 12
- Incertezas (propagação) ..... slides 13 – 24

# Objetivos

- Obtenção, tratamento e análise de dados obtidos em experimentos de Ondas e Óptica (Física).
- Introdução ao uso de alguns aparelhos de medida e metodologias de apresentação de resultados.

# Funcionamento

- Semestre é composto por 12 aulas:
  - 2 aulas introdutórias
  - 8 experimentos
  - 1 prova
  - 1 atividade avaliativa opcional, assíncrona ou reposição.

- **Aula 1:** Introdução ao laboratório
- **Aula 2:** Metodologias.
- **Aulas 3-6 a 8-11:** Experimentos 1-8
- **Aula 7:** Atividade avaliativa opcional.
- **Aula 12:** Prova

# Funcionamento

Sequência de experimentos (aula 3 a 11)

1. Movimento Harmônico Simples
2. Ondas estacionárias na corda
3. Velocidade do som em metais
4. Lentes e Espelhos
5. Refração da Luz
6. Polarização da Luz
7. Difração e Interferência
8. Interferômetro de Michelson

**Prova: Do tipo escolhido pelo professor**

**NÃO TEM EXAME ESPECIAL**

Nota: distribuição de pontos é definida pelo professor.

# Estrutura das Aulas

- Após a Aula 2, apresentaremos um experimento a cada semana de acordo com a sequência mostrada.
- Antes de cada experimento, disponibilizaremos, com uma semana de antecedência, um vídeo demonstrativo deste experimento no Youtube.
- Durante a semana que antecede a aula deste experimento, o aluno deve se preparar lendo o roteiro, assistindo ao vídeo e acessando o material de apoio (caso necessário) disponível no site da disciplina. Recomenda-se também a discussão com os colegas.

# Estrutura das Aulas

- No horário da aula, em reunião virtual com todos os alunos, será disponibilizado um conjunto de dados daquele experimento.
- Neste horário, serão discutidos os princípios físicos relacionados ao experimento, os procedimentos seguidos no vídeo, a análise de dados e a realização do relatório.
- A partir dos dados fornecidos, o aluno produzirá um gráfico e o enviará (mostrará) ao fim da aula para comprovar seu aproveitamento.
- O aluno fará um relatório do experimento seguindo as instruções do professor e o entregará na forma e data indicadas pelo professor.

# Unidades internacionais

Nos experimentos realizados durante o curso deve-se expressar resultados (valores) e utilizá-los nos cálculos no sistema de unidades internacionais.

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

\*Intervalos de temperatura em graus Celsius equivalem a intervalos em Kelvin, e são comumente utilizados em experimentos de termodinâmica

# Unidades internacionais

Algumas unidades internacionais utilizadas são obtidas pela combinação das unidades fundamentais

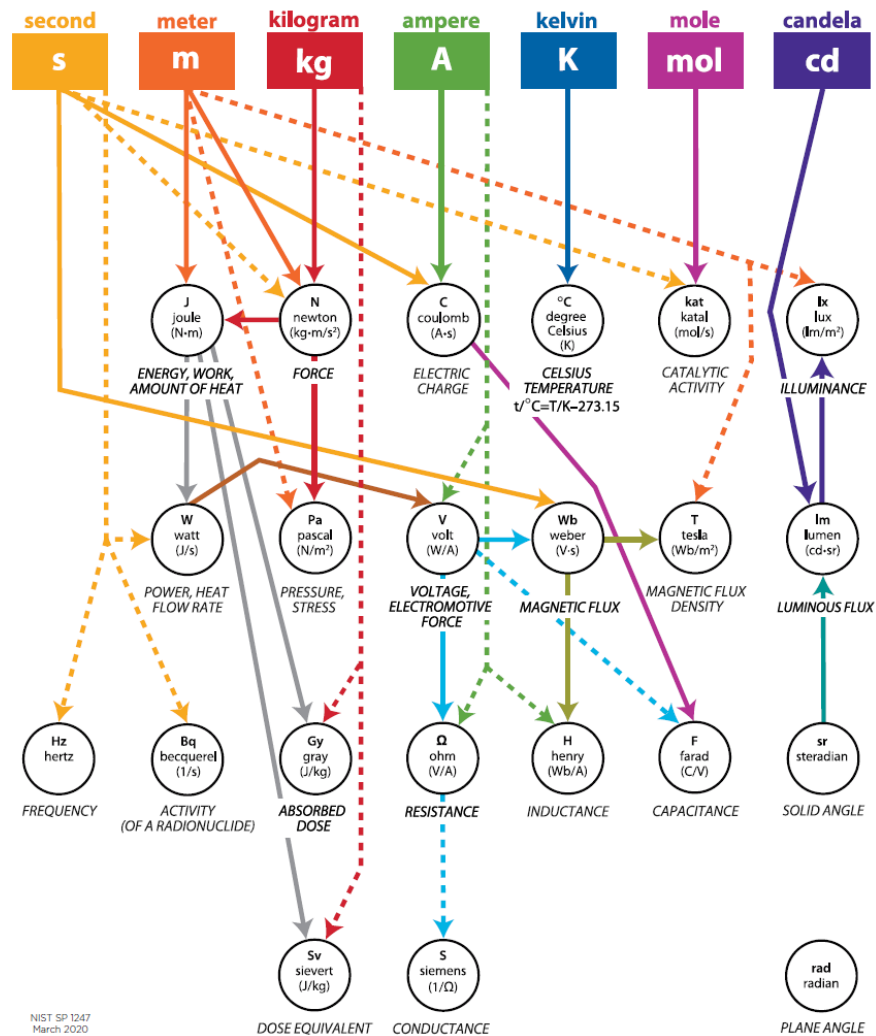
Grandeza	Nome da Unidade Derivada no SI	Símbolo	Equivalências
Frequência	hertz	Hz	$1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$
Força	newton	N	$1 \text{ N} = 1 \text{ kg.m/s}^2$
Pressão, tensão mecânica	pascal	Pa	$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$
Energia, trabalho, quantidade de calor	joule	J	$1 \text{ J} = 1 \text{ N.m}$
Potência e fluxo de energia	watt	W	$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$
Carga elétrica	coulomb	C	$1 \text{ C} = 1 \text{ A.s}$
Potencial elétrico, diferença de potencial, tensão elétrica, força eletromotriz	volt	V	$1 \text{ V} = 1 \text{ J/C}$
Capacitância	farad	F	$1 \text{ F} = 1 \text{ C/V}$
Resistência elétrica	ohm	$\Omega$	$1 \Omega = 1 \text{ V/A}$
Condutância elétrica	siemens	S	$1 \text{ S} = \Omega^{-1}$
Fluxo de indução magnética, fluxo magnético	weber	Wb	$1 \text{ Wb} = 1 \text{ V.s}$
Densidade de fluxo magnético, indução magnética	tesla	T	$1 \text{ T} = 1 \text{ Wb/m}^2$
Indutância	henry	H	$1 \text{ H} = 1 \text{ Wb/A}$



TheSI@nist.gov

# SI BASE UNITS

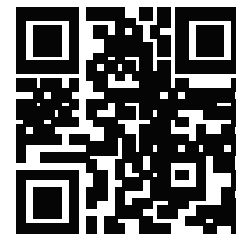
**SI** TRADITIONAL BASE UNITS      **SI** DERIVED UNITS      COHERENT DERIVED UNITS WITH SPECIAL NAMES AND SYMBOLS  
 ——— MULTIPLICATION      - - - - - DIVISION



TheSI@nist.gov



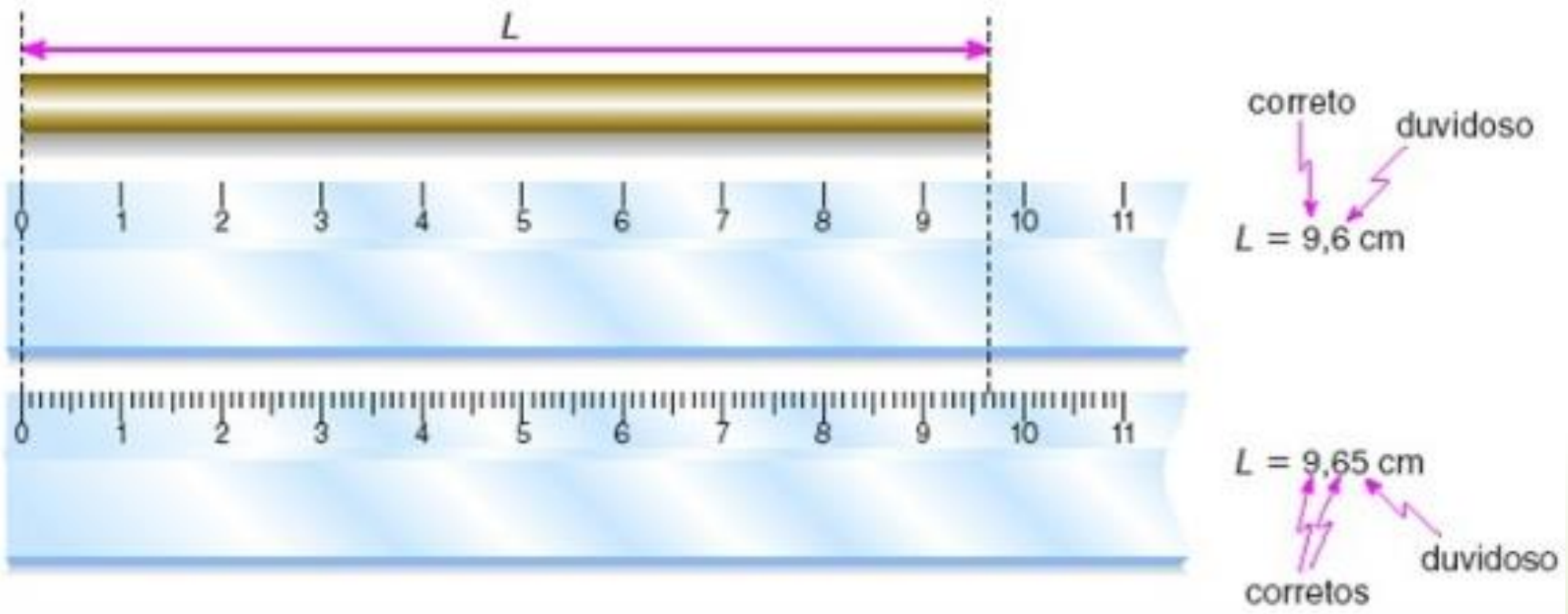
This publication is free of charge from: <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.1247>



# Potências de dez vs unidades

Prefixo		1000 <sup>m</sup>	10 <sup>n</sup>	Equivalente numérico
Nome	Símbolo			
yotta	Y	1000 <sup>8</sup>	10 <sup>24</sup>	1 000 000 000 000 000 000 000 000
zetta	Z	1000 <sup>7</sup>	10 <sup>21</sup>	1 000 000 000 000 000 000 000
exa	E	1000 <sup>6</sup>	10 <sup>18</sup>	1 000 000 000 000 000 000
peta	P	1000 <sup>5</sup>	10 <sup>15</sup>	1 000 000 000 000 000
tera	T	1000 <sup>4</sup>	10 <sup>12</sup>	1 000 000 000 000
giga	G	1000 <sup>3</sup>	10 <sup>9</sup>	1 000 000 000
mega	M	1000 <sup>2</sup>	10 <sup>6</sup>	1 000 000
quilo	k	1000 <sup>1</sup>	10 <sup>3</sup>	1 000
hecto	h	1000 <sup>2/3</sup>	10 <sup>2</sup>	100
deca	da	1000 <sup>1/3</sup>	10 <sup>1</sup>	10
<i>nenhum</i>		1000 <sup>0</sup>	10 <sup>0</sup>	1
deci	d	1000 <sup>-1/3</sup>	10 <sup>-1</sup>	0,1
centi	c	1000 <sup>-2/3</sup>	10 <sup>-2</sup>	0,01
mili	m	1000 <sup>-1</sup>	10 <sup>-3</sup>	0,001
micro	μ	1000 <sup>-2</sup>	10 <sup>-6</sup>	0,000 001
nano	n	1000 <sup>-3</sup>	10 <sup>-9</sup>	0,000 000 001
pico	p	1000 <sup>-4</sup>	10 <sup>-12</sup>	0,000 000 000 001
femto	f	1000 <sup>-5</sup>	10 <sup>-15</sup>	0,000 000 000 000 001
atto	a	1000 <sup>-6</sup>	10 <sup>-18</sup>	0,000 000 000 000 000 001
zepto	z	1000 <sup>-7</sup>	10 <sup>-21</sup>	0,000 000 000 000 000 000 001
yocto	y	1000 <sup>-8</sup>	10 <sup>-24</sup>	0,000 000 000 000 000 000 000 001

# Algarismos significativos



Na 1ª régua temos medidas com 2 algarismos significativos, mas temos 3 algarismos significativos na 2ª régua (mais precisa).

O último algarismo de uma medida é o algarismo duvidoso (menor divisão de escala acessível para uma medida direta)

# Algarismos significativos

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

## Exemplos:

- **45,30**cm > tem quatro algarismos significativos;
- **0,0595**m > tem três algarismos significativos; e
- **0,0450**kg > tem três algarismos significativos.

Ao se efetuar mudanças de unidade o número de algarismos significativos não se altera.

$$4,94 \text{ cm} = 0,0494 \text{ m}$$

# Algarismos significativos

Potências de 10 não são parte dos algarismos significativos

<b>raio (mm)</b>	<b>significativos</b>
57,896	5
$5,79 \times 10^1$	3
$5,789600 \times 10^1$	7
$6 \times 10^2$	1

# Algarismos significativos

$$4,32 \text{ cm} + 2,1 \text{ cm} = ?$$

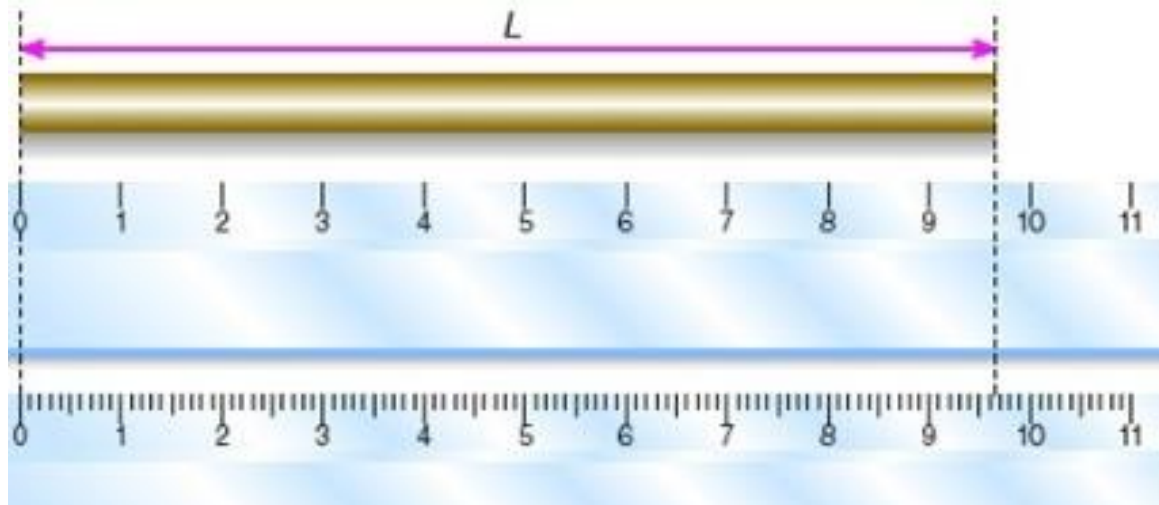
$$\begin{array}{r} 4,32 \text{ cm} \\ + 2,1 \text{ cm} \\ \hline 6,42 \text{ cm} \end{array}$$

**Resultado:**

**6,4 cm**

Ao efetuar a soma de resultados deve-se expressar valores que sejam compatíveis com o valor de menor número de algarismos significativos (dentro os originalmente obtidos).

# Incertezas (diretas)



- **Forma correta**

- $(2,74 \pm 0,05)$  cm
- $2,74(5)$  cm
- $(123,4 \pm 1,2)$  kg ou  $(123 \pm 1)$  kg

- **Forma incorreta**

- $(2,7455 \pm 0,0532)$  cm (incerteza com muitos algarismos)
- $(2,7 \pm 0,05)$  cm (a representação da medida não é compatível com a incerteza)

# Incertezas (diretas)

Em alguns casos uma variável do experimento é medida muitas vezes, tornando a aferição de um processo mais precisa. O experimento é repetido identicamente e as variações na aferição das medidas é fundamentalmente aleatório

Deve-se expressar o valor médio e a incerteza como o desvio padrão da média.

Ex: Medida do tempo até um projétil lançado atingir o chão

Lançamento	Tempo (s)
1	1,93
2	1,89
3	2,01
4	1,95
5	2,02

$$t_{\text{médio}} = \frac{(t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5)}{5}$$

$$t_{\text{médio}} = \bar{t} = 1,96 \text{ s}$$

# Incertezas (diretas)

Em alguns casos uma variável do experimento é medida muitas vezes, tornando a aferição de um processo mais precisa. Deve-se expressar o valor médio e a incerteza como o **desvio padrão da média**.

Ex: Medida do tempo até um projétil lançado atingir o chão

$$t_{\text{médio}} = \bar{t} = 1,96 \text{ s}$$

**Incerteza = desvio padrão da média:**



$$\Delta x = \left[ \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{1/2}$$

$$\Delta t = 0,024495 \text{ s}$$

Declare então:  $t = (1,96 \pm 0,02) \text{ s}$

# Incertezas (diretas)

Em alguns casos uma variável do experimento é medida muitas vezes, tornando a aferição de um processo mais precisa. Deve-se então expressar o valor médio e a incerteza como o desvio da média.

Ex: Medida do tempo até um projétil lançado atingir o chão

Lançamento	Tempo (s)
1	1,93
2	1,89
3	2,01
4	1,95
5	2,02

$$t_{\text{médio}} = \frac{(t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5)}{5}$$

$$t_{\text{médio}} = \bar{t} = 1,96 \text{ s}$$

Incerteza = desvio padrão da média:

$$\Delta x = \left[ \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{1/2}$$

$$\Delta t = 0,024495$$

Declare então: **t = (1,96 ± 0,02) s**

# Incertezas (gráficos)

Utilizamos análise gráfica (discutida em detalhes na 2ª aula do curso) para obter um resultado mais preciso e eficaz em relação à análise de uma tabela de dados (usada apenas em medidas diretas).

Exemplo: considere as medidas de corrente e tensão para aferição da resistência elétrica de um elemento resistivo ôhmico ( $V = R I$ )

Tensão (V)	Corrente (A)
1,0	0,052
2,0	0,098
3,0	0,151
4,0	0,195
5,0	0,244

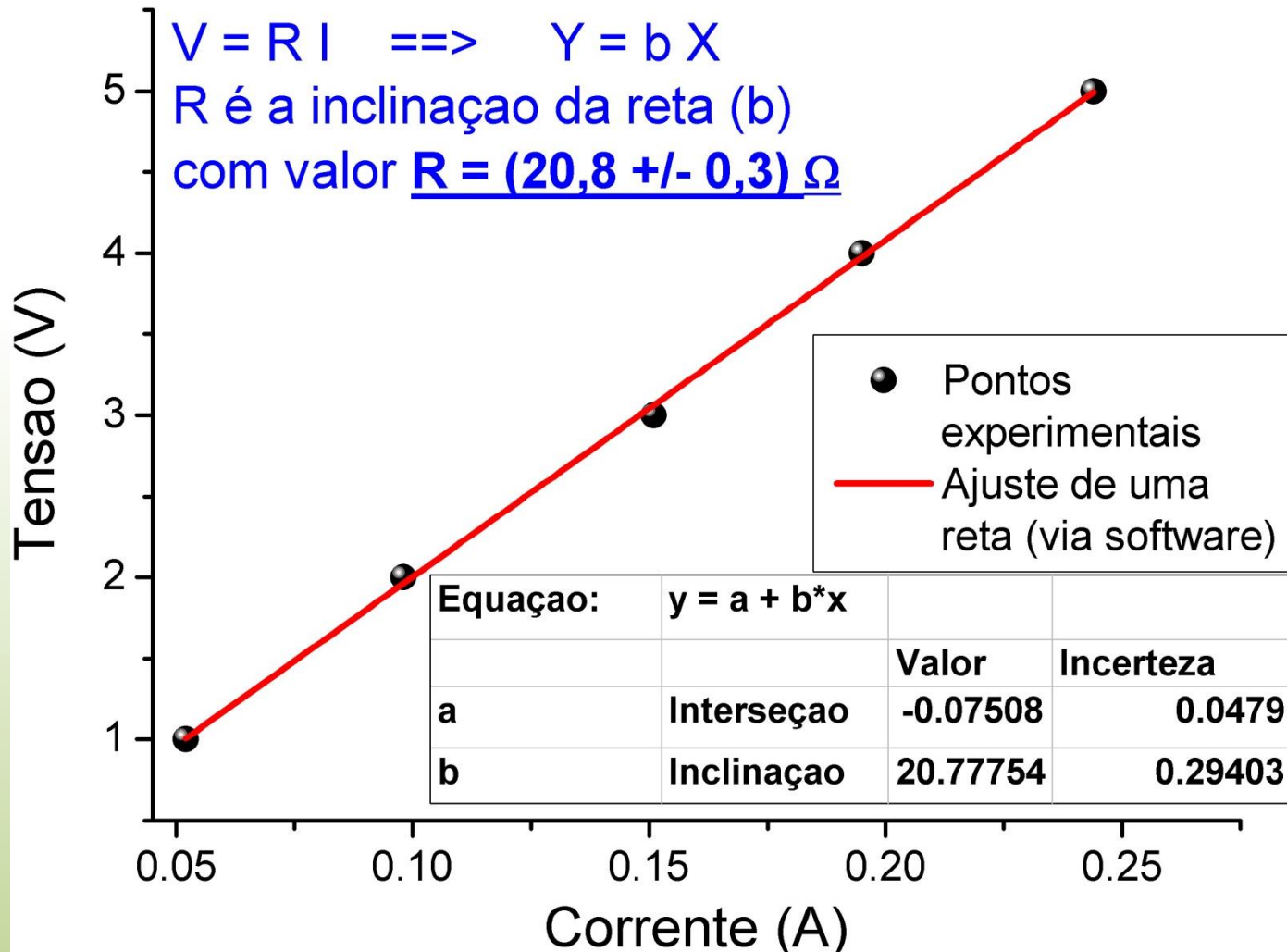
**PELA TABELA (NÃO FAZER!!)**

$$\bar{R} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^n V_i / I_i$$

$$\Delta R = \left[ \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2 \right]^{1/2}$$

# Incertezas (gráficos)

Ao fazer um gráfico dos dados experimentais de V e I, encontra-se o valor de R como a inclinação da reta, cuja incerteza é diretamente fornecida pelo processo de regressão linear (2ª aula).



# Propagação de incertezas

Em muitos casos não é possível aferir diretamente o valor da incerteza de uma medida cujo resultado é obtido a partir de um grupo de variáveis (e valores).

É necessário então utilizar alguns cálculos simples para se obter a incerteza final.

Ex: queremos saber o volume de um cilindro de gás cujas dimensões estão declaradas abaixo

Raio da base	–	$r = (0,14 \pm 0,01) \text{ m}$
Altura do cilindro	–	$h = (1,38 \pm 0,05) \text{ m}$

Sabendo que  $V = \pi hr^2$  calcule  $\Delta V$

# Propagação de incertezas

Cálculo simplificado para uma função polinomial:

$$Y = a^{p_1} b^{p_2} c^{p_3}$$

$$\frac{\Delta Y}{Y} = \sqrt{\left(p_1 \frac{\Delta a}{a}\right)^2 + \left(p_2 \frac{\Delta b}{b}\right)^2 + \left(p_3 \frac{\Delta c}{c}\right)^2}$$

*para*

$$V = \pi r^2 h \quad \rightarrow \quad \frac{\Delta V}{V} = \sqrt{\left(2 \frac{\Delta r}{r}\right)^2 + \left(1 \frac{\Delta h}{h}\right)^2}$$

$$\rightarrow \quad \Delta V = V \sqrt{\left(2 \frac{\Delta r}{r}\right)^2 + \left(1 \frac{\Delta h}{h}\right)^2}$$

# Propagação de incertezas

Método geral para uma função qualquer (derivadas parciais)

$$Y = Y(a, b, c)$$

$$\Delta Y = \sqrt{\left(\frac{\partial Y}{\partial a}\right)^2 \Delta a^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial b}\right)^2 \Delta b^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial c}\right)^2 \Delta c^2}$$

*para*

$$V = \pi r^2 h \quad \rightarrow \quad \frac{\partial V}{\partial r} = 2\pi r h \quad \frac{\partial V}{\partial h} = \pi r^2$$

$$\Delta V = \sqrt{(2\pi r h)^2 \Delta r^2 + (\pi r^2)^2 \Delta h^2}$$

# Propagação de incertezas

Note que, partindo de:

$$\Delta V = \sqrt{(2\pi r h)^2 \Delta r^2 + (\pi r^2)^2 \Delta h^2}$$

Dividindo-se os dois lados por  $\pi r^2 h$

$$\frac{\Delta V}{\pi r^2 h} = \sqrt{\frac{4\pi^2 r^2 h^2}{\pi^2 r^4 h^2} \Delta r^2 + \frac{\pi^2 r^4}{\pi^2 r^4 h^2} \Delta h^2}$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta V}{V} = \sqrt{\left(2 \frac{\Delta r}{r}\right)^2 + \left(1 \frac{\Delta h}{h}\right)^2}$$

# Propagação de incertezas

Método geral para uma função qualquer do tipo:

$$Y = ax \pm bz$$

$$\Delta Y = \sqrt{\left(\frac{\partial Y}{\partial x}\right)^2 \Delta x^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial z}\right)^2 \Delta z^2}$$

$$\therefore \Delta Y^2 = a^2 \Delta x^2 + b^2 \Delta z^2$$

# Avisos Aula 2

Para a próxima aula você deve ter acesso a pelo menos um dos seguintes programas de acordo com o seu equipamento:

- **SciDAvis:** <https://sourceforge.net/projects/scidavis/>
  - Computador onde se pode instalar programas.
- **MyCurveFit:** <https://mycurvefit.com/>
  - Computador onde não é possível instalar programas. Este se usa sempre online.
- **LinearFit (Smartphone):** Busque “LinearFit” no “Play Store”:  
([https://play.google.com/store/apps/details?id=appinventor.ai\\_oscar\\_gomezcalderon.LinearFit\\_ShaDB&hl=en\\_US](https://play.google.com/store/apps/details?id=appinventor.ai_oscar_gomezcalderon.LinearFit_ShaDB&hl=en_US))

→ Material de apoio para os programas:

<https://www.fisica.ufmg.br/ciclo-basico/disciplinas/feb-optica/#apoio>