# Introdução às Medidas em Física
## (Turma 43)

Aula 10 16/06/2023

Gisell Ruiz Boiset

gisell@if.usp.br

Bloco F – Conjunto Alessandro Volta – sl. 209

Material preparado com base no material gentilmente cedido pela Prof. Dr. Ricardo Andrade Terini

# Na aula de hoje

- **Objetivos:**
  - **Medidas de temperatura**

    Estudar o resfriamento de uma solução de glicerina aquecida.

    Aprender a utilizar termopares para medidas de temperatura.

  - **Análise de dados**

    Verificar um decaimento exponencial.

    Empregar escala mono-logarítmica para linearização de gráficos.

    Extrair empiricamente uma lei física através de análise gráfica de dados.

- **Experiência 6: Resfriamento de um líquido**

# Referências para a aula de hoje:

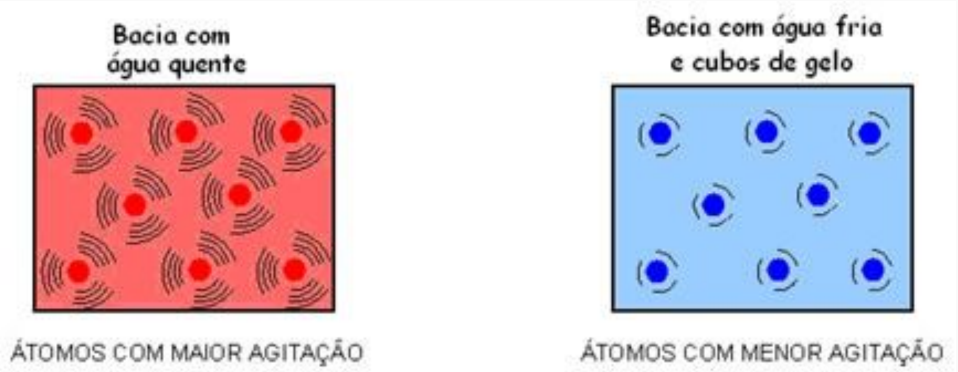
- Apostila do curso (página principal do moodle):
  - Experiência VI (Aula 10): Resfriamento de um líquido
  - Capítulo IV: Interpretação gráfica de dados

- Aba Material Didático/Arquivos 2023:
  - Manuais dos termopares que serão utilizados

# Termodinâmica - Conceitos Básicos

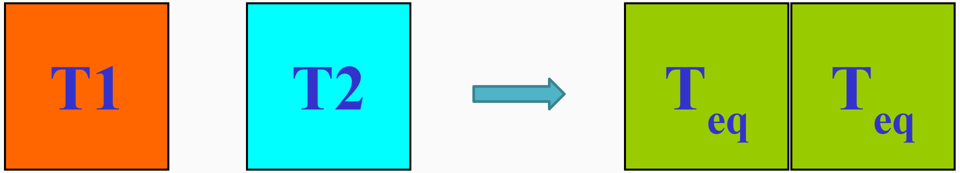
## Temperatura

- **É a medida do grau de agitação das moléculas ou átomos de uma substância.** A temperatura é uma medida da energia cinética média (de rotação, translação ou vibração) das moléculas/átomos de um corpo ou substância.
- A temperatura de um corpo pode ser modificada por **troca de calor ou por realização de trabalho** $\longrightarrow$ assim, produzem mudanças na energia cinética de moléculas.



# Lei Zero da Termodinâmica

Dois corpos inicialmente a temperaturas diferentes, quando colocados em contato por um tempo suficiente chegam a um estado final em que a temperatura de ambos se iguala. Esse estado é chamado de **equilíbrio térmico.**




Se $T_1 > T_2$

$T_1 > T_{eq} > T_2$

- Se um dos corpos é um **reservatório térmico**, o corpo inicialmente mais quente que o reservatório perde calor para ele até que sua temperatura iguale a do reservatório.
- **Portanto, um objeto mais quente que a temperatura ambiente, irá perder calor para o ambiente até igualar sua temperatura com o mesmo.**

# Lei de Resfriamento

## Objetivo do experimento:

Estudar o **processo de resfriamento até a temperatura ambiente**, de um corpo aquecido a uma determinada temperatura T.

- Como deve ser a variação da temperatura?

  ...Linear ou conforme outra função matemática?

Inicialmente, na ausência de um modelo teórico, iremos estabelecer uma função de maneira empírica.

- Medir a Variação da temperatura em função do tempo
- Ajuste dos dados experimentais

# Lei de Resfriamento de Newton (1701)

**Hipóteses:**

A **taxa de troca de calor** entre um corpo e o ambiente (reservatório a $\mathbf{T_R}$ constante) é proporcional à **diferença de temperatura** entre o corpo e o ambiente.

$$\frac{dQ}{dt} = cte \cdot (T - T_R)$$

A quantidade de calor é proporcional à variação da temperatura (**Q = C.ΔT**); assim, espera-se que também a **taxa de variação de temperatura seja proporcional a ΔT**:

$$\frac{d(T - T_R)}{dt} = \frac{d\Delta T}{dt} = -\frac{1}{\tau}(T - T_R)$$

A constante **τ** tem unidade de **tempo**, e depende do **formato** e do **material** do corpo.

# Lei de Resfriamento de Newton

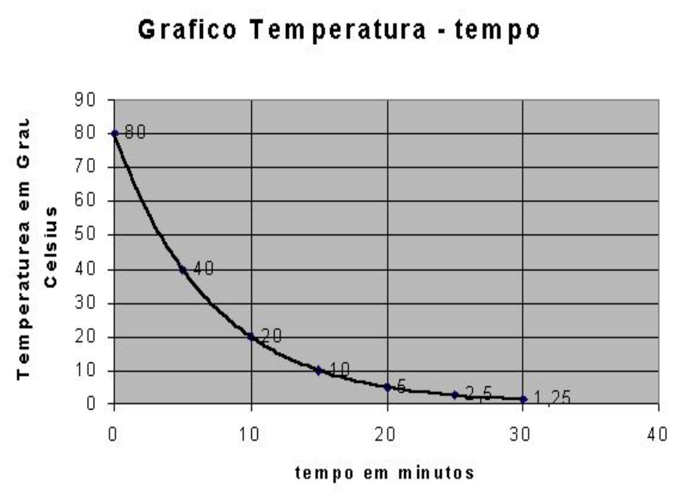
**Consequências:**

Espera-se, então, que a temperatura caia exponencialmente no tempo:

$$\Delta T = (T - T_R) = \Delta T_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

**$\Delta T_0$** - diferença inicial de temperatura entre o líquido e o ambiente.

- Propriedades de exponenciais decrescentes com tempo:
  o tempo necessário para diminuir de uma certa fração é fixo;
  o instante inicial não importa;
  a derivada é exponencial.

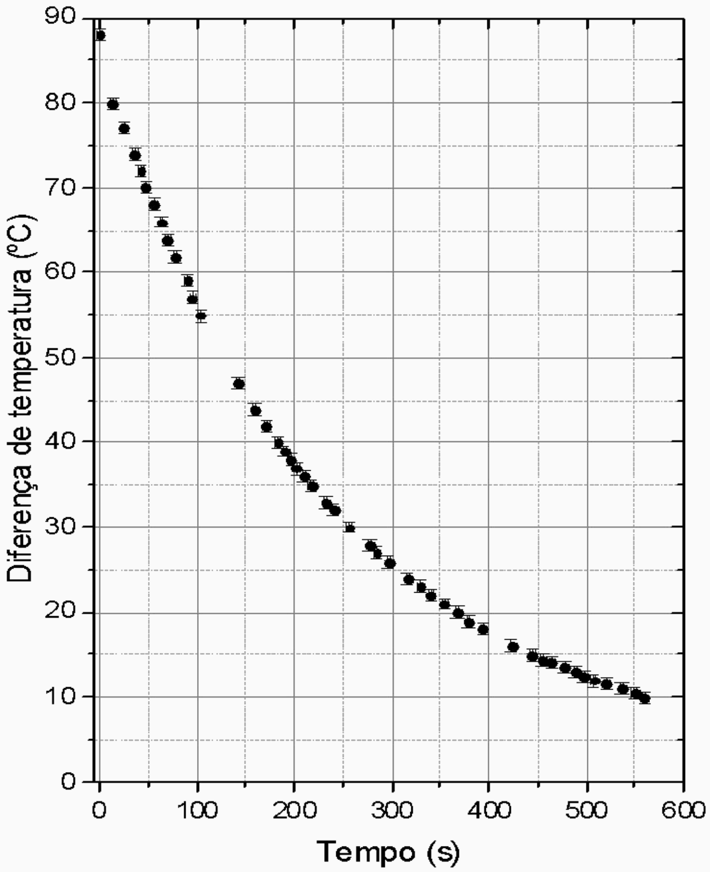


# Análise de Dados

Como analisar uma dependência que claramente não é linear?

A curva traçada pelos pontos experimentais não é uma reta.

**Qual é essa função?**



# Lembretes

**Quando aplicamos logaritmo?**

$$Y = 10^{x_1} \qquad Y = 2^{x_2} \qquad Y = e^{x_3}$$

$$x_1 = log_{10}Y \qquad x_2 = log_2 Y \qquad x_3 = log_e Y = ln\, Y$$

**Algumas propriedades (qualquer base)**

$$log(A.B) = \ logA + logB \qquad logA^B \ = B\, logA$$

**Detalhe:** $log_{10}(10.X) = \ log_{10}10 + log_{10}X = 1 + log_{10}X$

# Análise de Dados

Tentativa: função exponencial (muito comum em fenômenos semelhantes a este) :

$$T(t) - T_{ambiente} = C_0 \cdot e^{-\mu \cdot t}$$

onde $C_0$ e μ são parâmetros da função.

**Como verificar?**

Linearizando a função:

$$\log (T(t) - T_{ambiente}) = \log (C_0 \cdot e^{-\mu \cdot t})$$

$$\log (T(t) - T_{ambiente}) = \log(C_0) + \log(e^{-\mu \cdot t})$$

$$\log (T(t) - T_{ambiente}) = \log(C_0) - \mu \cdot t \cdot \log(e)$$

$$\therefore \log (T(t) - T_{ambiente}) = a' + b' \cdot t$$

**sendo,** $a' = \log(C_0)$ e $b' = -\mu \cdot \log(e)$

# Análise de Dados

Então, caso seja verdade que: $T(t) - T_{ambiente} = C_0 \cdot e^{-\mu \cdot t}$

∴ Gráfico $\log (T(t) - T_{ambiente}) \times t$ deve ser **uma reta**

$$\log (T(t) - T_{ambiente}) = \log(C_0) - \mu \cdot \log(e) \cdot t$$

$$y = a' + b' \cdot x$$

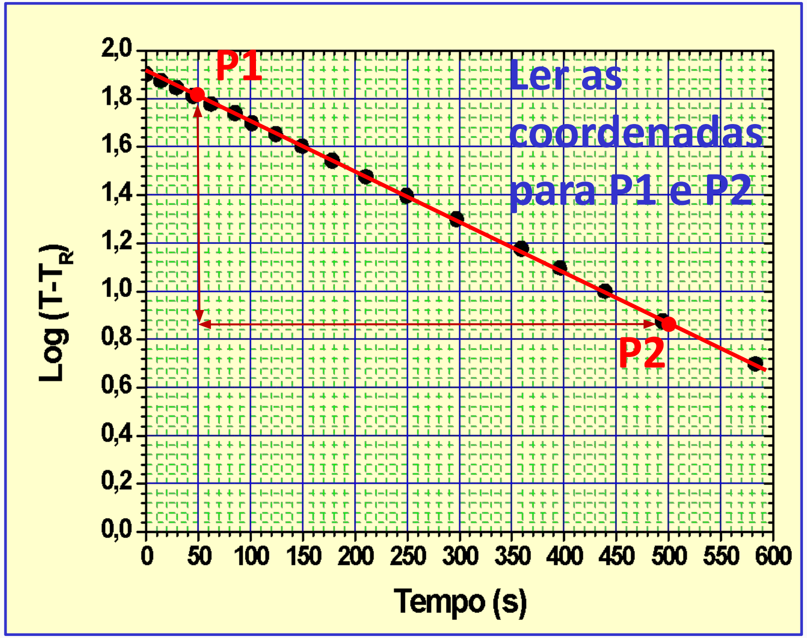
- coeficiente linear ($a'$) –

*$(\log(\Delta T))$, para $(t) = 0$*

$a' = \log (C_0)$  $C_0 = 10^{a'}$

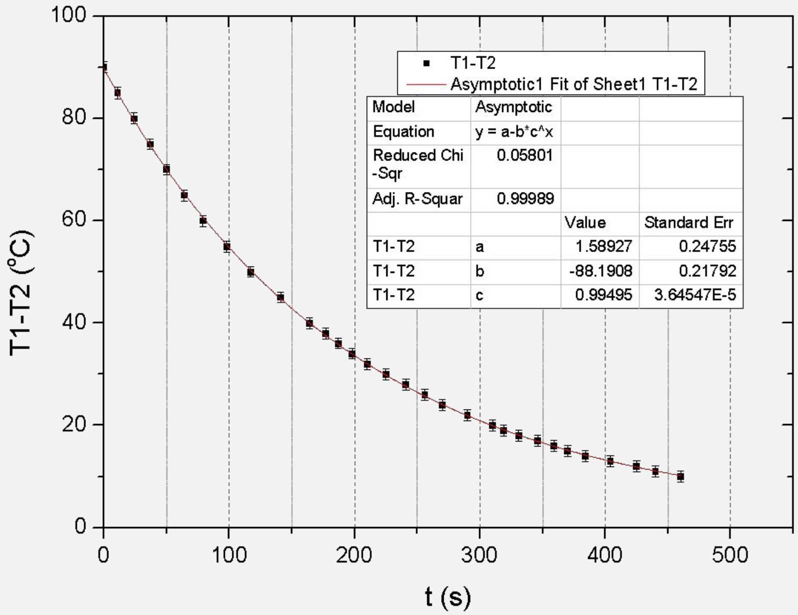
- coeficiente angular ($b'$) – inclinação reta

$$b' = \frac{\log(\Delta T(t_2)) - \log(\Delta T(t_1))}{t_2 - t_1} = -\mu \log(e) \Rightarrow \boxed{\mu = -\frac{b'}{\log(e)}}$$

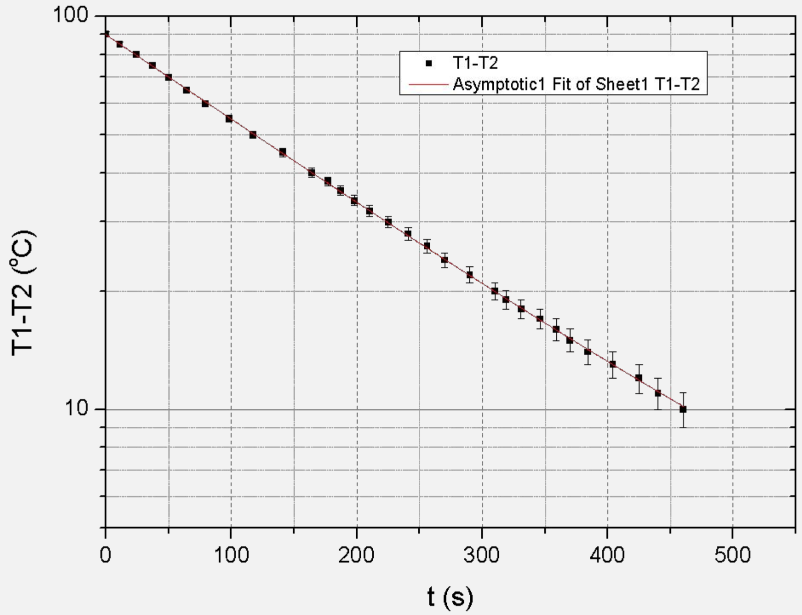


# Análise de Dados

*Exemplo*: Gráfico da diferença de temperatura em relação ao ambiente × tempo: $(T(t)-T_{ambiente})\times t$




Escala linear




Escala logarítmica (base 10)

# Escala Logarítmica

A fim de facilitar a construção desse gráfico:

**Papel monolog**

*o eixo-y é construído de forma que o comprimento real no papel corresponde ao logaritmo do número marcado na escala do gráfico*

# Escala Logarítmica

A fim de facilitar a construção desse gráfico:

**Papel monolog**

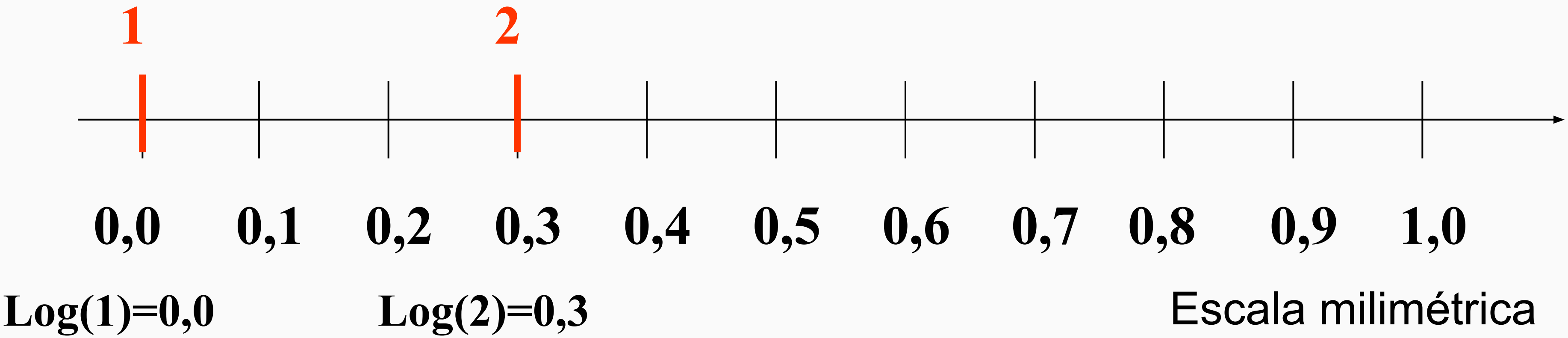
*o eixo-y é construído de forma que o comprimento real no papel corresponde ao logaritmo do número marcado na escala do gráfico*

# Escala Logarítmica

A fim de facilitar a construção desse gráfico:

**Papel monolog**

*o eixo-y é construído de forma que o comprimento real no papel corresponde ao logaritmo do número marcado na escala do gráfico*

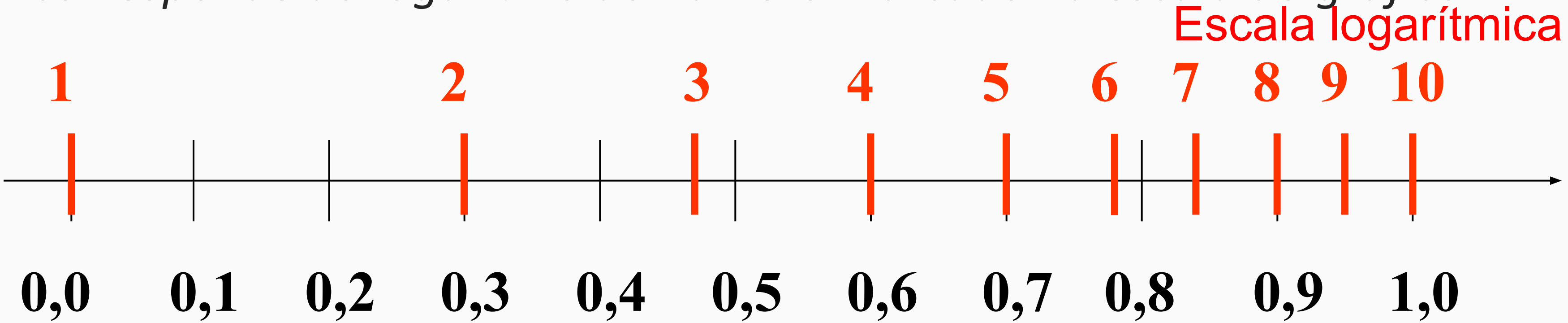


# Escala Logarítmica

A fim de facilitar a construção desse gráfico:

**Papel monolog**

*o eixo-y é construído de forma que o comprimento real no papel corresponde ao logaritmo do número marcado na escala do gráfico*

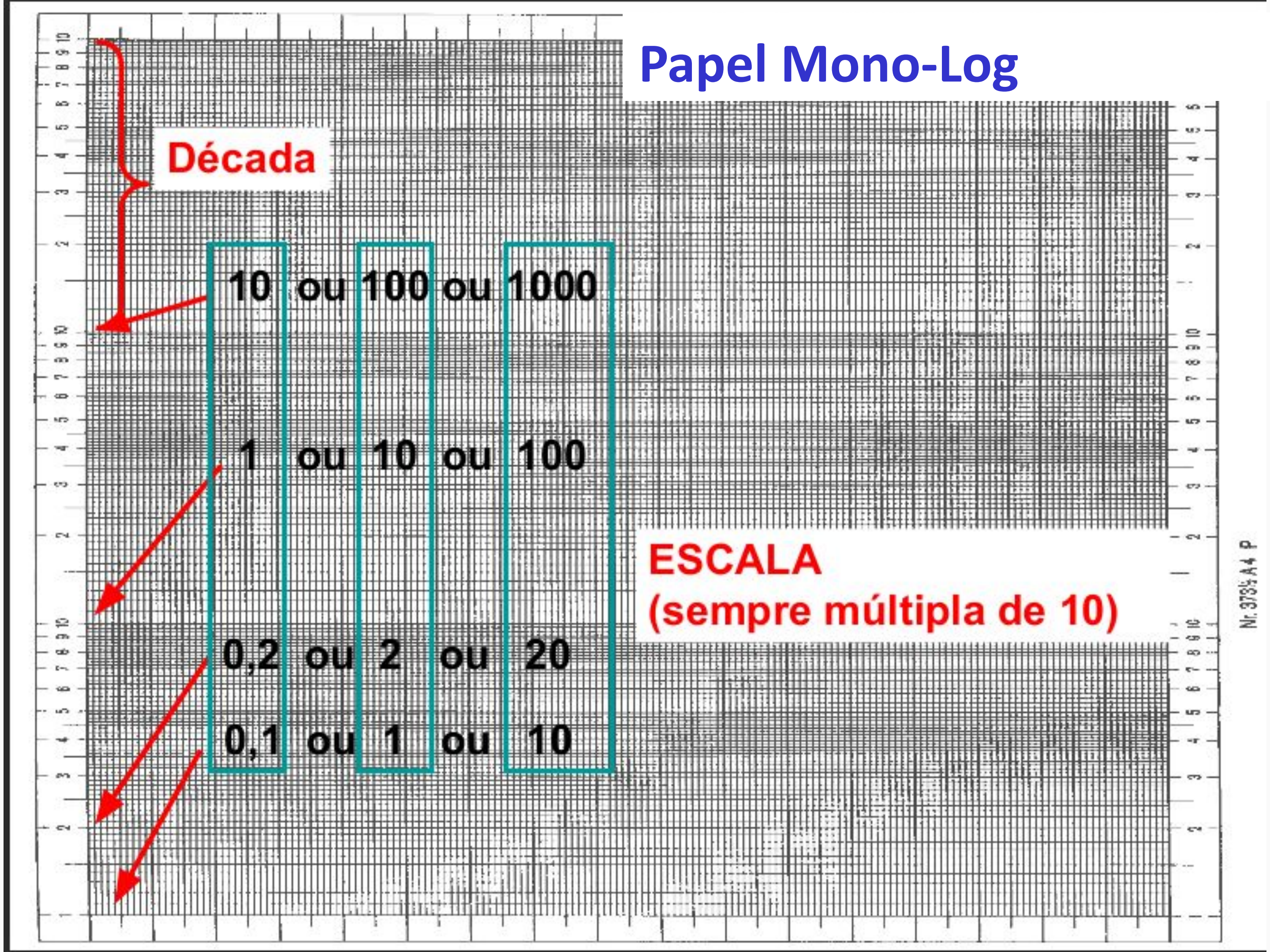



Log(1)=0,0 Log(2)=0,3 Log(3)=0,47 Log(5)=0,7 Log(10)=1,0

Log(4)=0,6 Log(6)=0,78

Log(7)=0,84 Log(8)=0,90 Log(9)=0,95

# Papel Mono-Log



# Análise de dados com papel monolog

Modelo de Newton:

$$\Delta T = (T - T_R) = \Delta T_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$\therefore \log(\Delta T) = \log(\Delta T_0) + \left(-\frac{t}{\tau}\right)\log(e)$$

$$Y = a + bt \ldots \text{com} : Y \equiv \log(\Delta T),$$

$$a \equiv \log(\Delta T_0),\ b \equiv \frac{-\log(e)}{\tau}$$

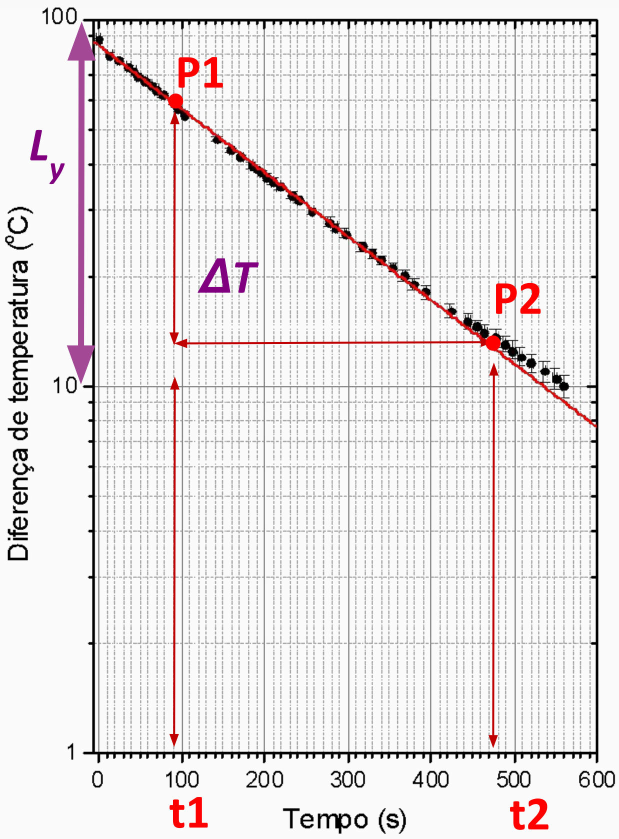
Além disso:

- diferenças de logaritmos podem ser obtidas com **régua**!

$$b' = \frac{\log(T(t_2)) - \log(T(t_1))}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta T / L_y}{t_2 - t_1}$$

**Para log (T) mede-se com régua (na vertical):**

**$L_y$ é a unidade (mm) e $\Delta T$ é a distância (mm) P1 – P2**


**Para t1 e t2: ler as coordenadas**

# Exercício de clase

**Cálculo dos valores de log**

**Colocar ponto na escala log**

**Fazer leitura na escala linear**

| Número | Valor calculado (log x) | Valor lido milimetrado |
|---|---|---|
| 0,754 | | |
| 7,54 | | |

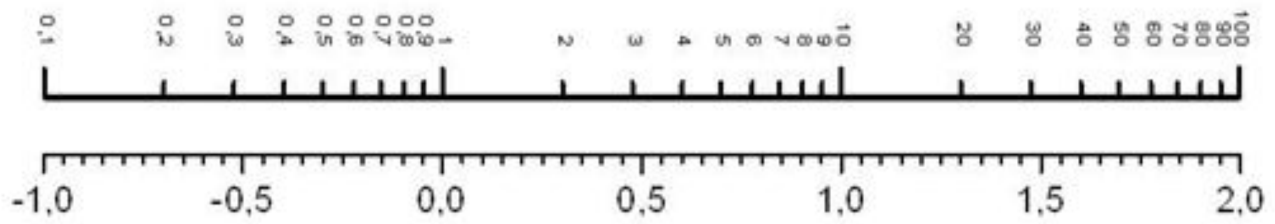
A subtração dos dois valores lidos é compatível com a subtração dos dois valores calculados?

○Sim ○Não

Obs:

1) o valor calculado deve ser escrito com três casas depois da vírgula

2) o valor lido dever ser escrito com o número de algarismos significativos coerentes com a escala.



# Exercício de clase

**Cálculo dos valores de log**

**Colocar ponto na escala log**

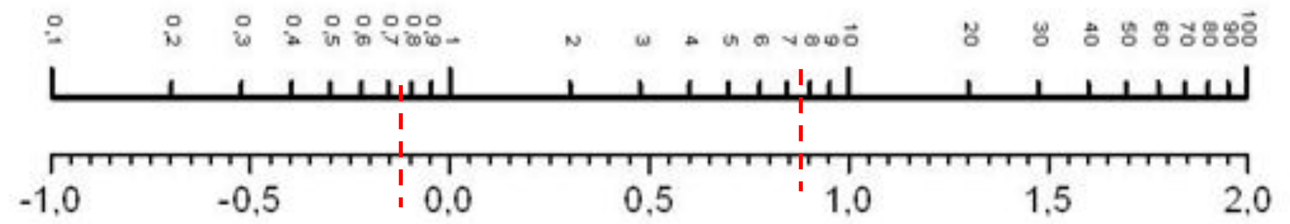
**Fazer leitura na escala linear**

| Número | Valor calculado (log x) | Valor lido milimetrado |
|---|---|---|
| 0,754 | -0,123 ✔ | -0,15 ✔ |
| 7,54 | 0,877 ✔ | 0,85 ✔ |

A subtração dos dois valores lidos é compatível com a subtração dos dois valores calculados?

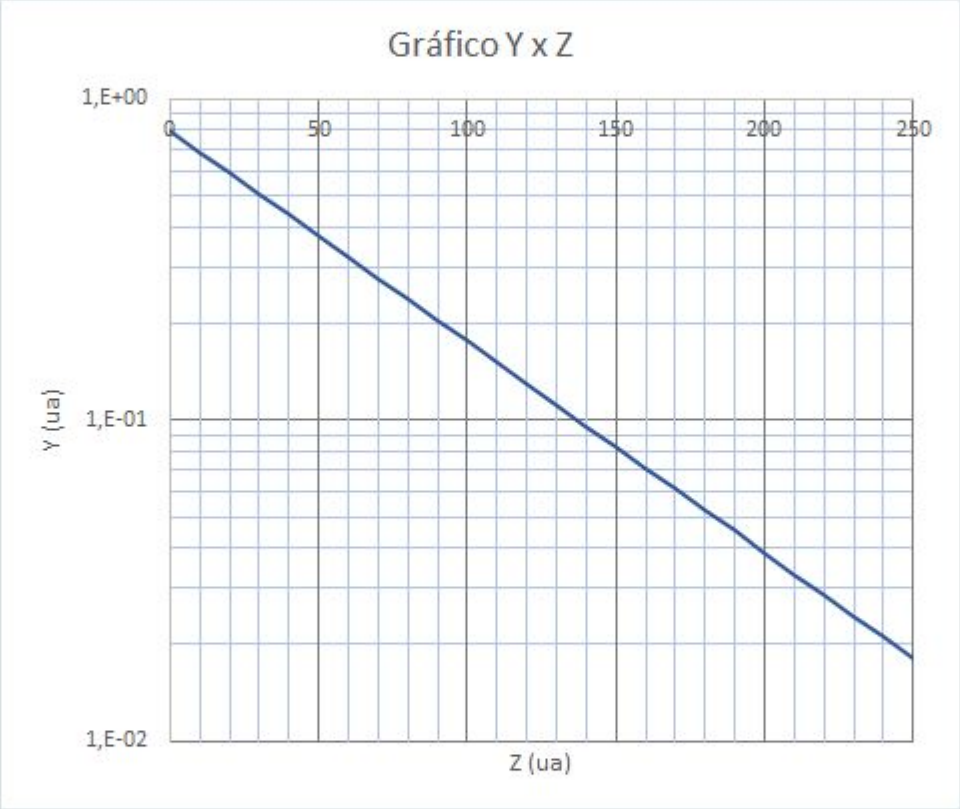
◉ Sim ✔

Obs:
1) o valor calculado deve ser escrito com três casas depois da vírgula
2) o valor lido dever ser escrito com o número de algarismos significativos coerentes com a escala.



# Exercício de clase

Leia no gráfico monolog abaixo o valor de Y correspondente ao valor de Z = 200.
Escreva a resposta com dois significativos.




**Posicionar ponto**

**Ler coordenada (Y)**

# Exercício de clase

Leia no gráfico monolog abaixo o valor de Y correspondente ao valor de Z = 200.
Escreva a resposta com dois significativos.


**Posicionar ponto**

**Ler coordenada (Y)**

# Exercício de clase

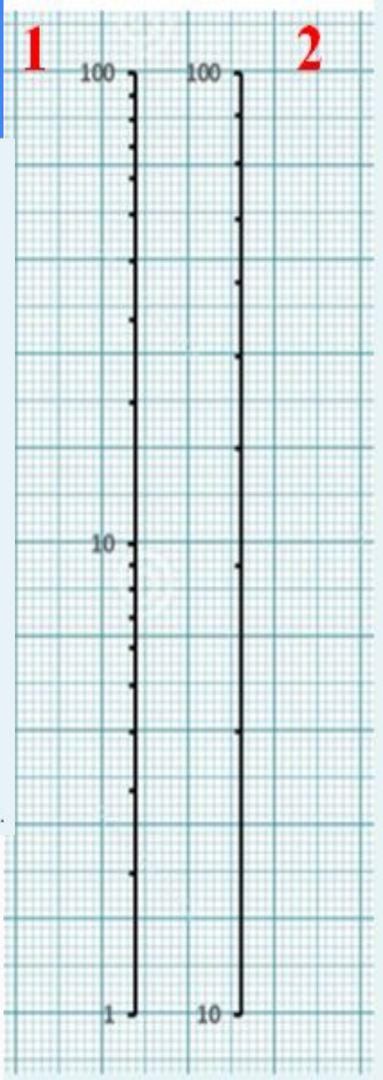
| Valores | | Teórico |
|---|---|---|
| y2 | y1 | log(y2) - log(y1) |
| 95,2 | 30,0 | |

| | Medidas régua | | Valor calculado |
|---|---|---|---|
| | 1 década | log(y2) - log(y1) | log(y2) - log(y1) |
| Escala 1 | | | |
| Escala 2 | | | |

Obs:

1) o valor teórico deve ser escrito com três casas depois da vírgula

2) Devido a dificuldade de posicionar o valor na escala logarítmica, avalie a leitura na régua com a precisão de milímetros.



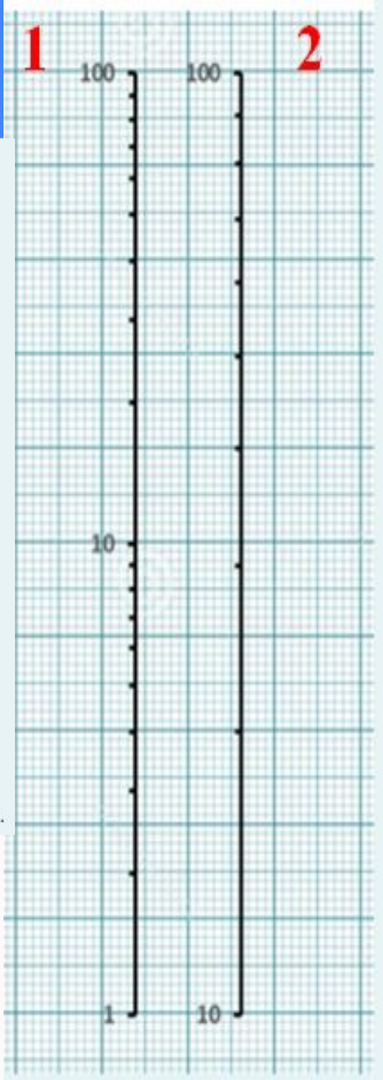
# Exercício de clase

| Valores | | Teórico |
|---|---|---|
| y2 | y1 | log(y2) - log(y1) |
| 95,2 | 30,0 | |

| | Medidas régua | | Valor calculado |
|---|---|---|---|
| | 1 década | log(y2) - log(y1) | log(y2) - log(y1) |
| Escala 1 | | | |
| Escala 2 | | | |

Obs:

1) o valor teórico deve ser escrito com três casas depois da vírgula
2) Devido a dificuldade de posicionar o valor na escala logarítmica, avalie a leitura na régua com a precisão de milímetros.




**Calculadora**

# Exercício de clase

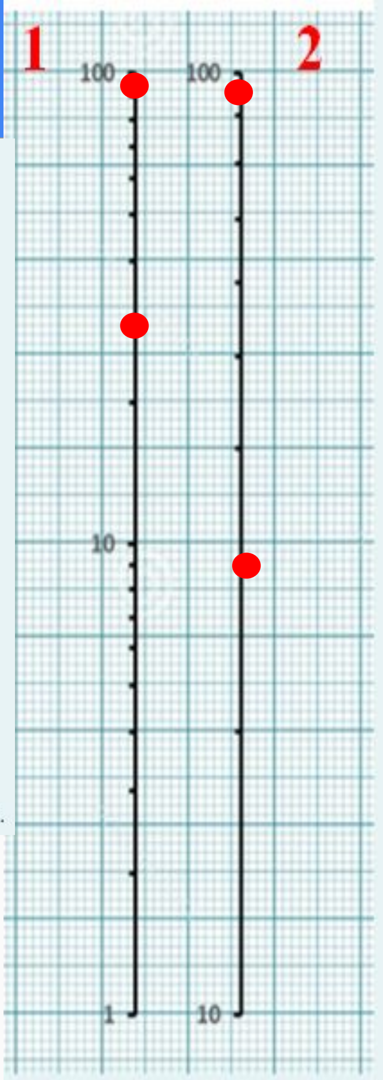
| Valores | | Teórico |
|---|---|---|
| y2 | y1 | log(y2) - log(y1) |
| 95,2 | 30,0 | |

| | Medidas régua | | Valor calculado |
|---|---|---|---|
| | 1 década | log(y2) - log(y1) | log(y2) - log(y1) |
| Escala 1 | | | |
| Escala 2 | | | |

Obs:

1) o valor teórico deve ser escrito com três casas depois da vírgula

2) Devido a dificuldade de posicionar o valor na escala logarítmica, avalie a leitura na régua com a precisão de milímetros.




**Coloca pontos nas duas escalas**

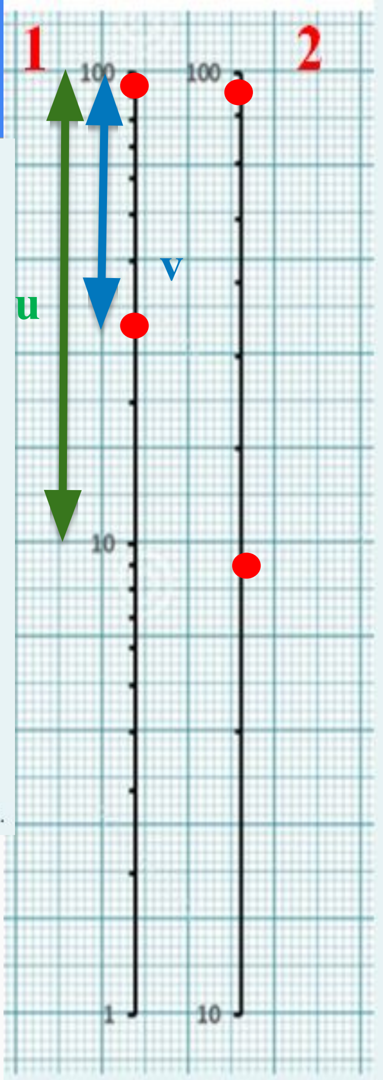
# Exercício de clase

| Valores | | Teórico |
|---|---|---|
| y2 | y1 | log(y2) - log(y1) |
| 95,2 | 30,0 | |

| | Medidas régua | | Valor calculado |
|---|---|---|---|
| | 1 década | log(y2) - log(y1) | log(y2) - log(y1) |
| Escala 1 | u | v | v/u |
| Escala 2 | | | |

Obs:

1) o valor teórico deve ser escrito com três casas depois da vírgula
2) Devido a dificuldade de posicionar o valor na escala logarítmica, avalie a leitura na régua com a precisão de milímetros.




**Usar escala milimetrada (como régua)**

**Distância dos pontos**

**Distância de uma década**

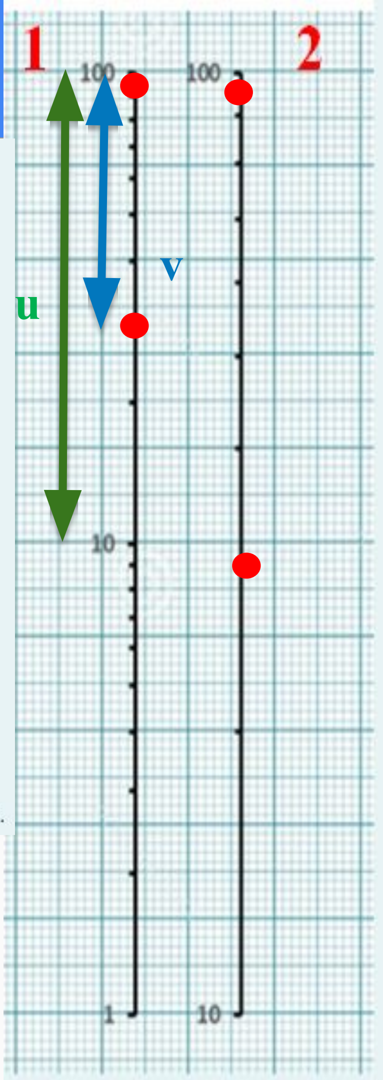
# Exercício de clase

| Valores | | Teórico |
|---|---|---|
| y2 | y1 | log(y2) - log(y1) |
| 95,2 | 30,0 | 0,502 |

| | Medidas régua | | Valor calculado |
|---|---|---|---|
| | 1 década | log(y2) - log(y1) | log(y2) - log(y1) |
| Escala 1 | 3,95 | 2,00 | 0,50 |
| Escala 2 | 7,95 | 4,00 | 0,50 |

Obs:

1) o valor teórico deve ser escrito com três casas depois da vírgula
2) Devido a dificuldade de posicionar o valor na escala logarítmica, avalie a leitura na régua com a precisão de milímetros.




**Usar escala milimetrada (como régua)**

**Distância dos pontos**

**Distância de uma década**

# Medida de temperatura

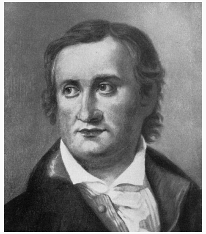
- A **temperatura** de um sistema é medida através do registro de uma grandeza (*fenômeno físico*) cuja dependência com a temperatura é conhecida.

- O termômetro mais comum é o de **coluna de mercúrio** (ou de álcool). Fenômeno físico usado: é a **dilatação volumétrica de líquidos** quando são aquecidos.

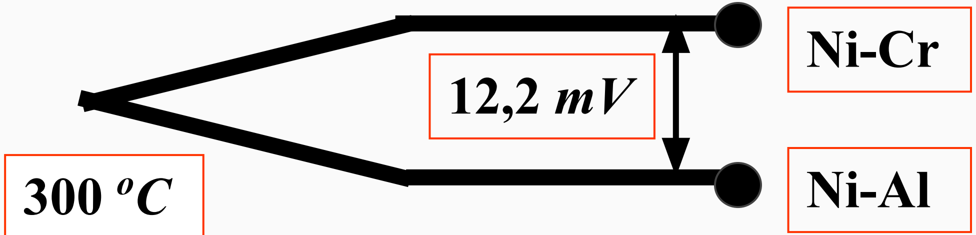
    - O comprimento da coluna do líquido é acoplada a uma escala graduada e calibrada de temperatura.


# Medida de temperatura: Termopar

- **Termopar** é um termômetro cujo princípio reside no fato de que a eletronegatividade de metais depende da temperatura de forma diferente para cada metal.
- Assim, se as pontas da junção de dois metais diferentes estiverem em temperaturas distintas, haverá a produção de uma diferença de potencial, que é mensurável e se relaciona com a temperatura. ***(Efeito termoelétrico)***
  - Descoberto em **1822** pelo físico **Thomas Seebeck** (Estônia).



Um dos tipos de termopar mais populares é o **tipo K**, composto pela junção das ligas de **níquel-cromo** e **níquel-alumínio**.



# Atividade prática

# Experimento


- **Vamos estudar o resfriamento da glicerina**

  **Material:** Tubo de ensaio com glicerina + lamparina + 2 termopares acoplados a multímetro específico (no modo T2 – T1) + cronômetro.

- **Procedimento geral:**

  - (*com lamparina*) **Aquecer** cuidadosamente o tubo de ensaio com glicerina e um termopar.

  - Colocá-lo para **esfriar** dentro de um cilindro no qual há um fluxo de ar constante, em que há outro termopar **fixado externamente**.

  - Medir diretamente a **diferença de temperatura em função do tempo**.

# Experimento (Medidas)

- Posicionar os dois termopares: um **na lateral** do cilindro (*cooler*) e outro **dentro** do tubo.

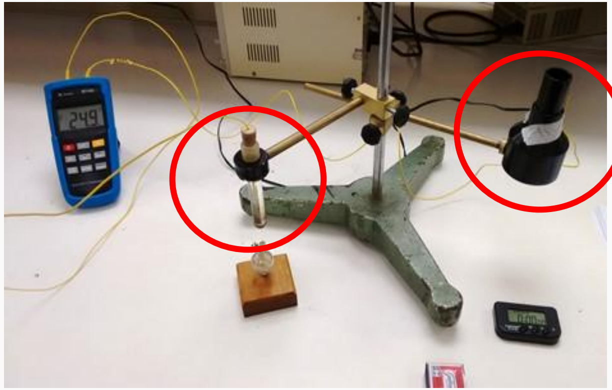
  Antes de iniciar o aquecimento, verificar a altura da glicerina no tubo de ensaio e posicionar o termopar na **metade** dessa altura.

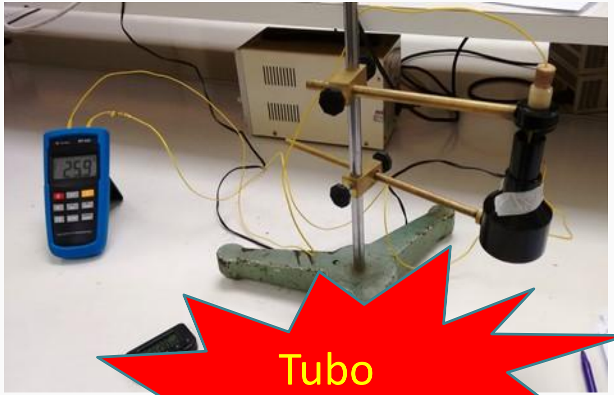
- Aquecer o tubo de ensaio até que ($T_{glic} - T_R$) seja **~95°C** .

  *Aquecer intermitentemente.*

- Inserir o tubo de ensaio no cilindro de resfriamento (previamente ligado).

  Evite encostar o tubo nas paredes e no fundo do cilindro.





Tubo quente !!!

# Experimento (Medidas)

- Medir a diferença de temperatura ($\Delta T = T_{glic} - T_R$) para vários instantes de tempo, no resfriamento (modo T1-T2).

  - **Dispare o cronômetro** quando ΔT chegar a **90°C**, no resfriamento.
  - **Prepare uma tabela** e **anote** o valor do tempo:

    **- de 5 em 5°C até 40°C**

    - **de 2 em 2°C até 20°C**

    - **de 1 em 1°C até 10°C**

Trabalho em equipe

Colocar os dados na planilha:

https://drive.google.com/drive/folders/1KJwxSm-eWm0AoQBpjGQO2BpfPpwsc0Ng?usp=share_link

| T(ºC) | t(s) |
|---|---|
| 90 | 0 |
| 85 | ... |
| ... | ... |

# Análise de Dados

1. **Gráficos de temperatura × tempo utilizando o papel monolog** *(em aula)*
   - **Um por membro do grupo (dividindo os dados)**
   - **Extrair os parâmetros $\Delta T_0$ e $\tau$ de um ajuste de reta**
2. **Gráfico de temperatura × tempo utilizando o papel milimetrado** *(em casa)*
   - **Dados experimentais ($\Delta T$ x $t$) + simulação de curva esperada usando os parâmetros $\Delta T_0$ e $\tau$ obtidos acima.**

**Nos dois casos, cada aluno usa um conjunto diferente de dados no gráfico**

# Relatórios

## Organização na apresentação

### Resumo

Propostas + métodos + resultados

### Introdução

Justificativa (Proposta), Objetivos, Parte teórica

### Procedimento/Arranjo experimental - descrição simplificada

### Resultados e análise de dados – completa (diretos/indiretos)

Tabelas, **incertezas** com justificativas, **cálculos**.

**Gráficos e ajustes de reta – derivação de expoentes e C**

### Discussão dos dados e Conclusão

**Comparações entre métodos ou valores teóricos**.

**Qualidade dos ajustes**

Críticas: método, resultados, incertezas

Resposta às propostas apresentadas

Referências bibliográficas

**Mais detalhes: Apostila de IMF, cap. V.**

# Para a próxima aula (23/06):

- No moodle (aba Experimento # 6 - Lei de resfriamento de Newton):
  - Exercício de casa - Sexta de manhã (até dia 23/06).
- Apostila do curso (página principal do moodle):
  - Capítulo VII - Cordas vibrantes

- Entrega do relatório – exp. 6. (um por grupo)

Gisell Ruiz Boiset
*gisell@if.usp.br*

Bloco F – Conjunto
Alessandro Volta – sl. 209