Introdução às Medidas em Física

(Turma 43)

Aula 11 23/06/2023

Gisell Ruiz Boiset

gisell@if.usp.br

Bloco F – Conjunto Alessandro Volta – sl. 209

Material preparado com base no material gentilmente cedido pela Profa. Dra. Paula R. P. Allegro

Da aula anterior

O papel monolog é uma linearização especial de uma equação do tipo:

$$\mathbf{y = Ae^{Bx}}$$

Para nosso caso, temos:

$$\Delta T = T - T_R = \Delta T_0 e^{-t/\tau}$$

$$\underbrace{\log(\Delta T)}_{Y} = \underbrace{\log(\Delta T_0)}_{a} + \underbrace{(-1/\tau)\log(e)t}_{bt}$$

Assim em um gráfico no papel monolog de **ΔT** x **t**, o coeficiente linear será numericamente igual a **ΔT_0** enquanto que o coeficiente angular será numericamente igual a **$(-1/\tau)\log(e)$**

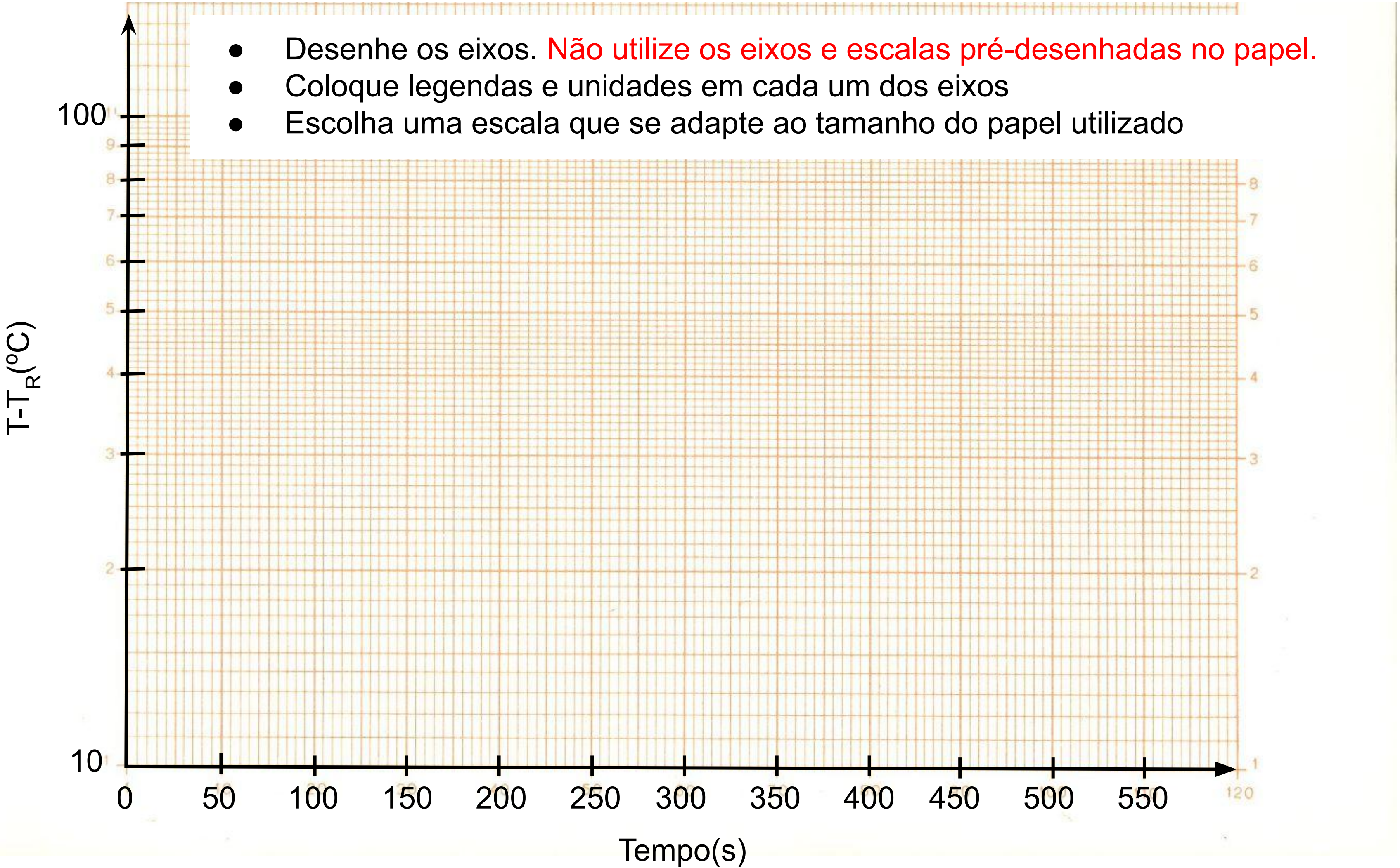
Usando o papel monolog não é necessário calcular os logaritmos dos valores, e a curva obtida será uma reta.

1. Gráficos de temperatura × tempo utilizando o papel monolog

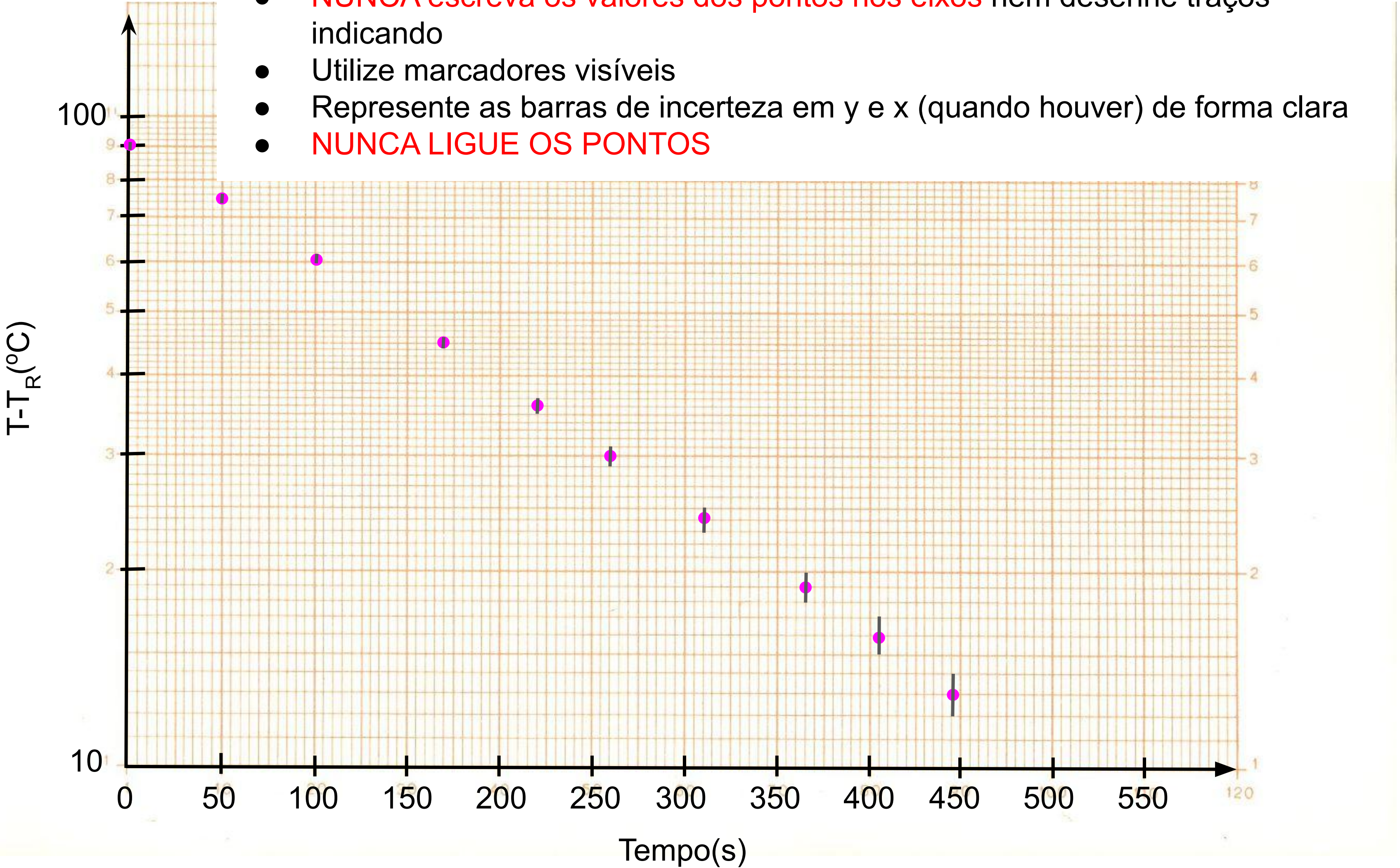
Extrair os parâmetros ΔT_0 e τ de um ajuste de reta

Pontos	tempo (seg)	σtempo (seg)	ΔT (°C)	$\sigma\Delta$T (ºC)
1	0,00	0,01	90	1
2	49,65	0,01	75	1
3	102,97	0,01	60	1
4	170,49	0,01	45	1
5	220,14	0,01	36	1
6	262,07	0,01	30	1
7	311,94	0,01	24	1
8	364,95	0,01	19	1
9	404,41	0,01	16	1
10	448,54	0,01	13	1

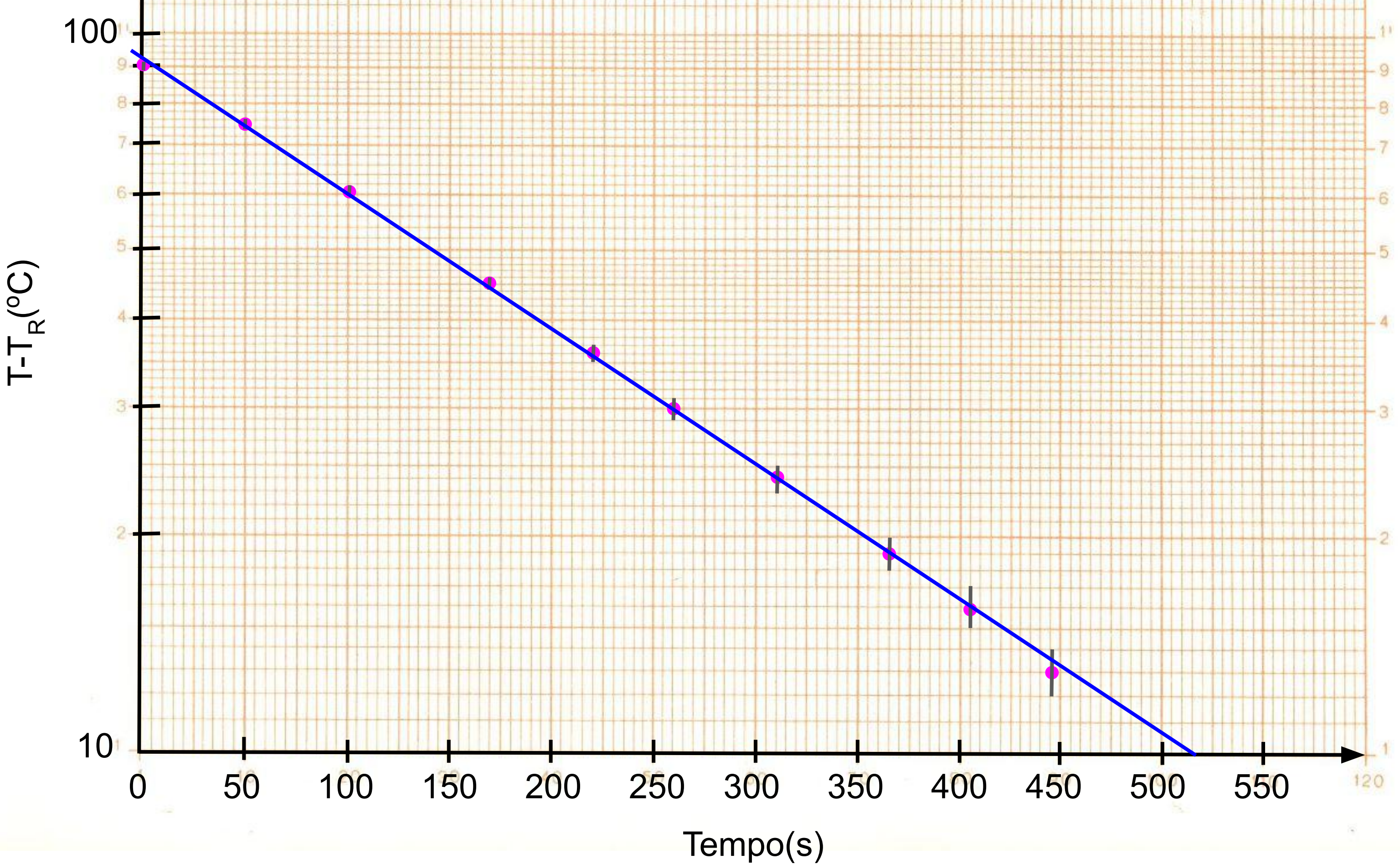
- Desenhe os eixos. Não utilize os eixos e escalas pré-desenhadas no papel.
- Coloque legendas e unidades em cada um dos eixos
- Escolha uma escala que se adapte ao tamanho do papel utilizado



- NUNCA escreva os valores dos pontos nos eixos nem desenhe traços indicando
- Utilize marcadores visíveis
- Represente as barras de incerteza em y e x (quando houver) de forma clara
- NUNCA LIGUE OS PONTOS



- Ajustar uma reta média entre os pontos experimentais.



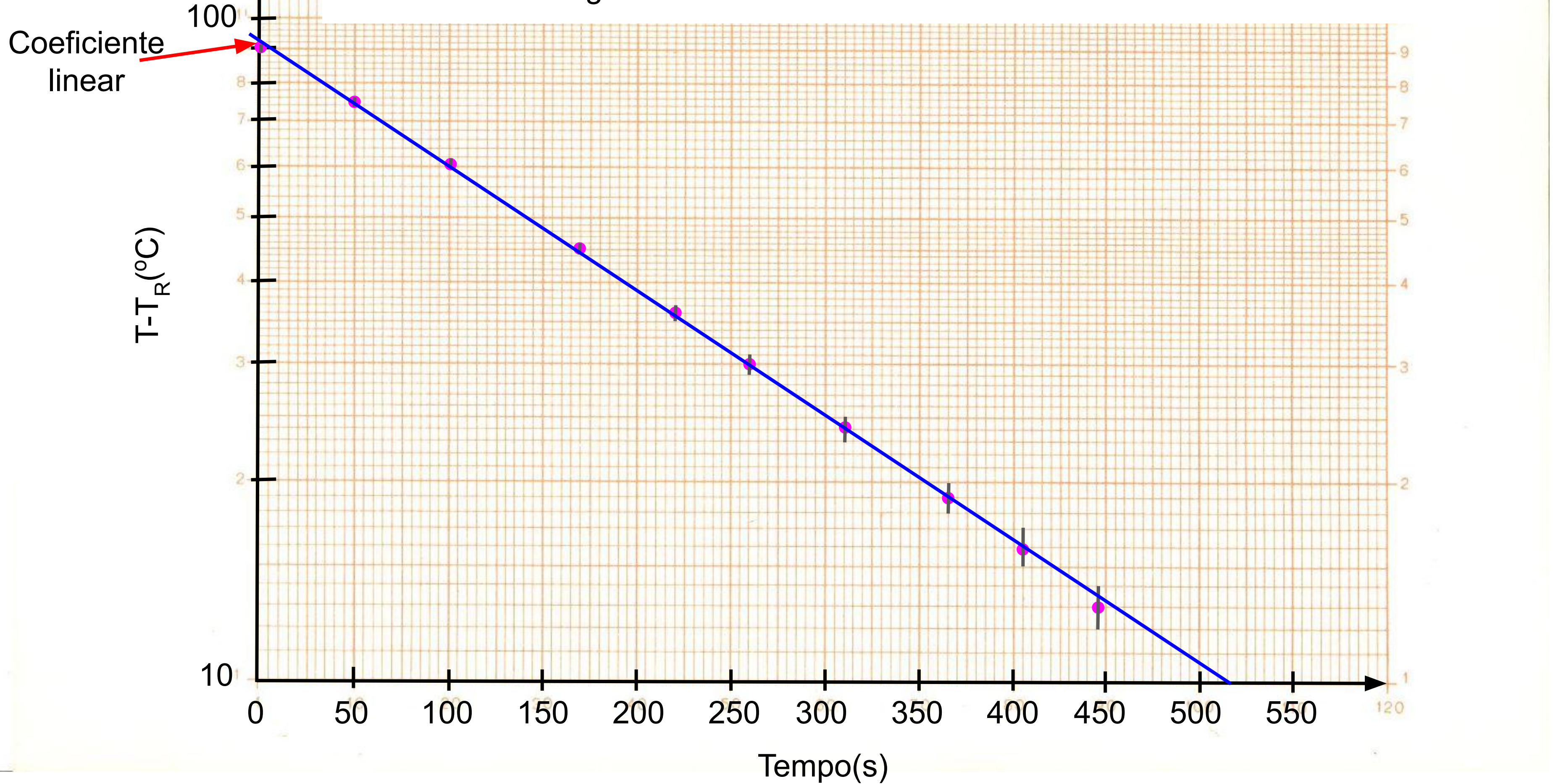
Vamos extrair os parâmetros $\mathbf{\Delta T_0}$ e τ do ajuste da reta.

Para o coeficiente linear:

LEIA A COORDENADA DO PONTO diretamente na escala logarítmica no qual a reta cruza o eixo da função y para x = 0. O coeficiente linear será numericamente igual a ΔT_0

$\boxed{\mathbf{\Delta T_0 = 92 \pm 1\ ^{\circ}C}}$

- **Para o coeficiente linear: LEIA A COORDENADA DO PONTO** diretamente na escala logarítmica



Para o coeficiente angular:

<u>**Método 1**</u> (mais simples para calcular as incertezas)

Escolha dois pontos (de preferência afastados entre si). Primeiro **LEIA AS COORDENADAS X DOS PONTOS**: no exemplo seriam os valores de tempo para o P1 e tempo para o P2.

Usando a régua **MEÇA A DISTÂNCIA NA VERTICAL ENTRE OS PONTOS P1 e P2** (que chamaremos de v) e meça a distância para a variação de uma década na escala logarítmica (chamaremos de u).

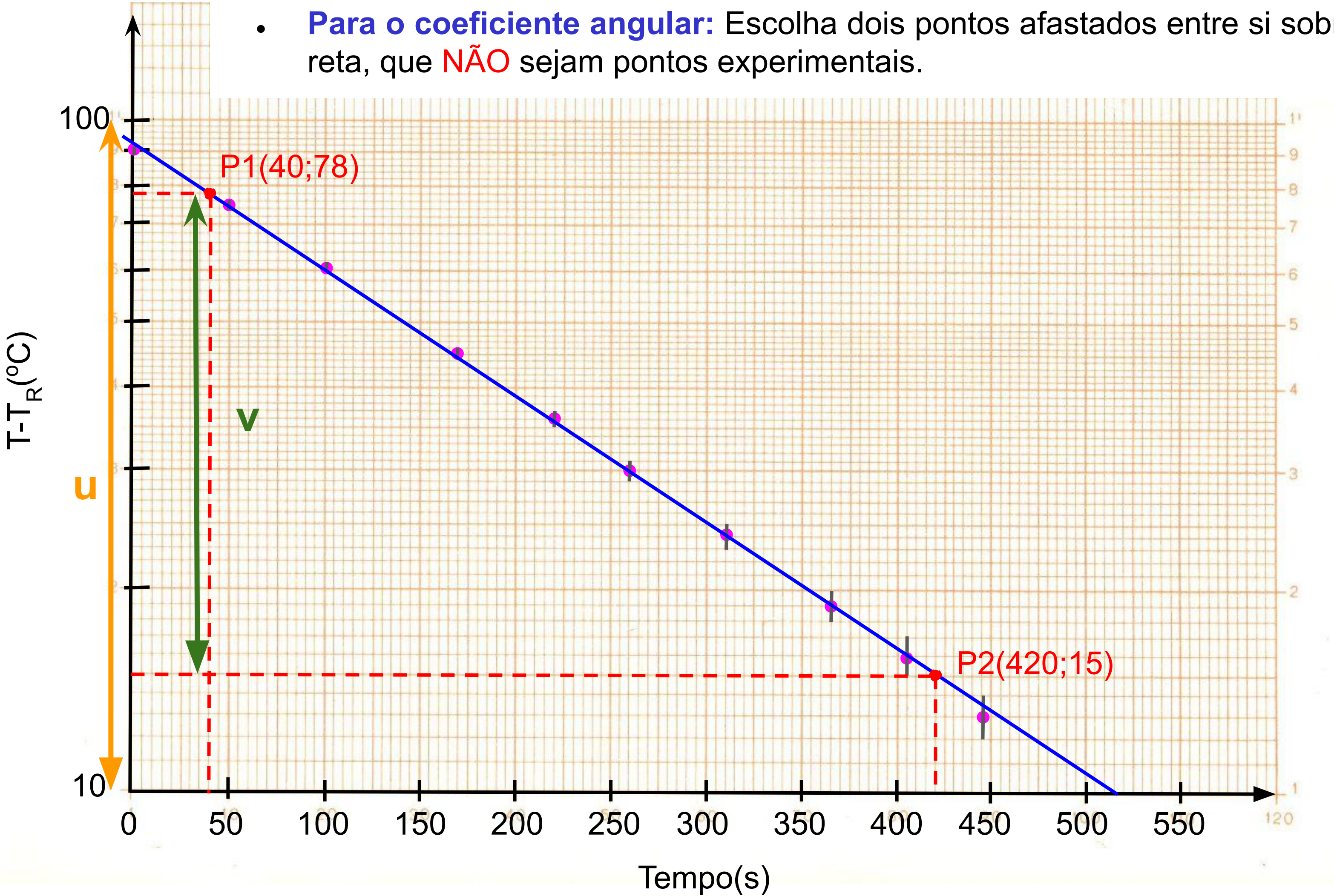
Calcule o coeficiente angular **b** como:

$$b = \frac{v/u}{t_2 - t_1}$$

que será igual a:

$$b = \frac{-\log(e)}{\tau}$$

- **Para o coeficiente angular:** Escolha dois pontos afastados entre si sobre a reta, que NÃO sejam pontos experimentais.



Pontos escolhidos:

P1(40;78)

P2(420;15)

u = 9,05 ± 0,05 cm - Distância para a variação de uma década na escala log

v = 6,50 ± 0,05 cm - Distância na vertical entre os pontos P1 e P2

$$b=\frac{v/u}{t_2-t_1}=\frac{6{,}50/9{,}05}{420-40}=\frac{0{,}718}{380}=-0{,}00189\,s^{-1}$$

O sinal - é colocado por conta da inclinação da reta.

Vamos calculator incerteza de b:

$$\sigma_b=b\sqrt{\left(\frac{\sigma_v}{v}\right)^2+\left(\frac{\sigma_u}{u}\right)^2+\left(\frac{\sigma_{\Delta t}}{\Delta t}\right)^2}$$

onde:

$$\Delta t=t_2-t_1$$

$$\sigma\Delta t=\sqrt{\sigma_{t1}^2+\sigma_{t2}^2}$$

$$\sigma_{t1}=\sigma_{t2}=\sigma_t$$

$$\sigma_t=\frac{50/10}{2}=2{,}5\approx 3\,s$$

Como os pontos estão alinhados usamos metade da menor divisão da escala em x

$$\sigma\Delta t=\sigma_t\sqrt{2}=3\sqrt{2}=4{,}2\approx 4\,s$$

$$\sigma_b=0{,}00189\sqrt{\left(\frac{0{,}05}{6{,}50}\right)^2+\left(\frac{0{,}05}{9{,}05}\right)^2+\left(\frac{4}{380}\right)^2}=0{,}000027\approx 0{,}00003\,s^{-1}$$

$$\boxed{b=-0{,}00189\pm 0{,}00003\,s^{-1}}$$

Vamos calcular τ :

$$b = \frac{-\log(e)}{\tau}$$

$$\tau = \frac{-\log(e)}{b} = \frac{0{,}4342}{0{,}00189} = 229{,}735\ s$$

Vamos calcular incerteza de τ :

$$\frac{\sigma_\tau}{\tau} = \frac{\sigma_b}{b} \longrightarrow \sigma_\tau = \tau \frac{\sigma_b}{b} = 229{,}735\ \frac{0{,}00003}{0{,}00189} = 3{,}6 \approx 4\ s$$

$$\boxed{\tau = (230 \pm 4)\ s}$$

Para o coeficiente angular:

Método 2

Escolha dois pontos (de preferência afastados entre si). **LEIA AS COORDENADAS DOS PONTOS P1 e P2**

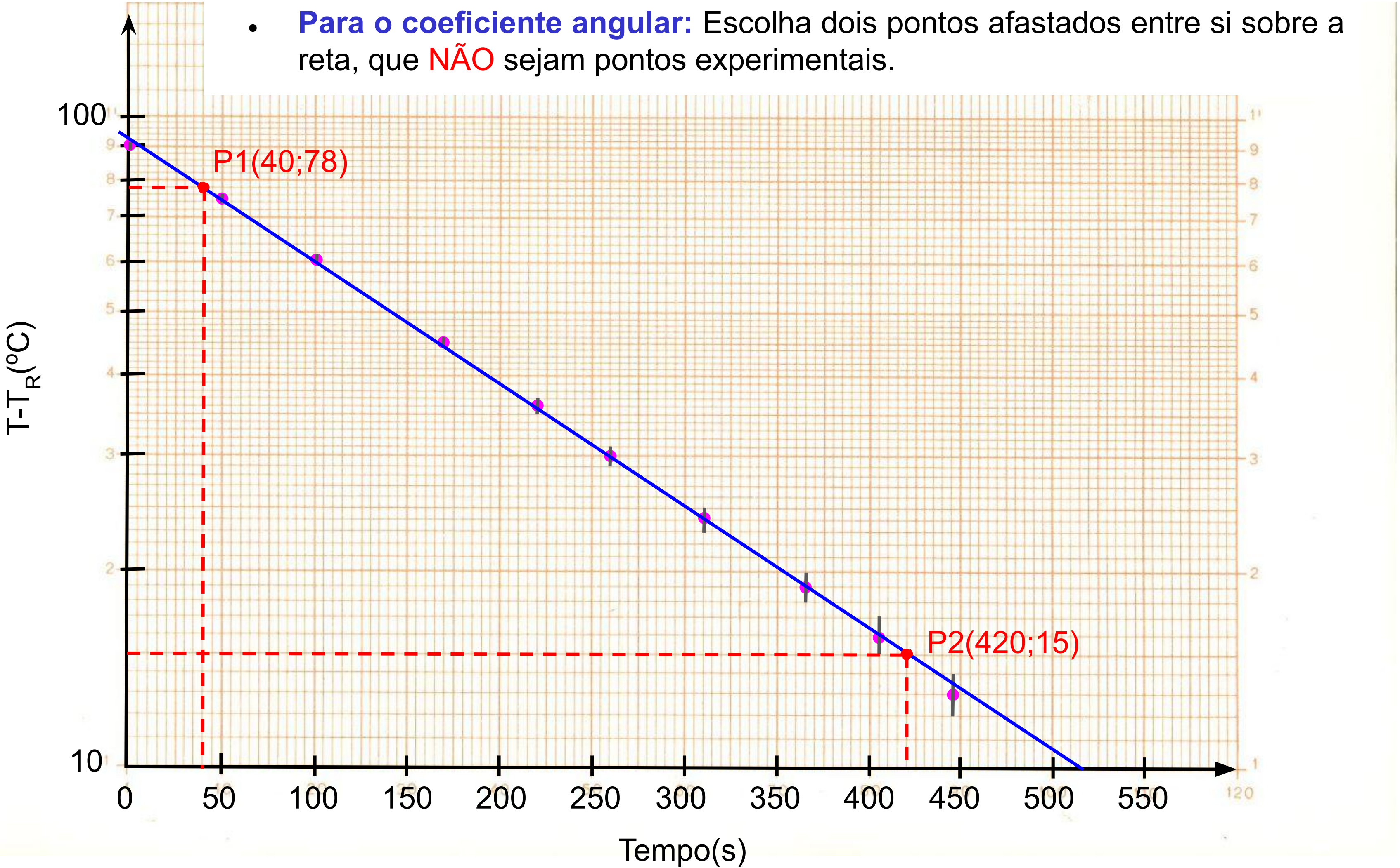
Calcule o coeficiente angular **b** como:

$$b = \frac{\log(T_2) - \log(T_1)}{t_2 - t_1}$$

que será igual a:

$$b = \frac{-\log(e)}{\boldsymbol{\tau}}$$

- **Para o coeficiente angular:** Escolha dois pontos afastados entre si sobre a reta, que NÃO sejam pontos experimentais.



Pontos escolhidos:

P1(40;78)

P2(420;15)

$$b=\frac{\log(T_2)-\log(T_1)}{t_2-t_1}=\frac{\log(15)-\log(78)}{420-40}=\frac{-0{,}718}{380}=-0{,}00188\,s^{-1}$$

Para calcular a incerteza de **b** precisamos fazer a propagação de incertezas:

$$\boldsymbol{\sigma}_b=\sqrt{\left(\frac{\partial b}{\partial T_2}\boldsymbol{\sigma}_{T2}\right)^2+\left(\frac{\partial b}{\partial T_1}\boldsymbol{\sigma}_{T1}\right)^2+\left(\frac{\partial b}{\partial \boldsymbol{\Delta} t}\boldsymbol{\sigma}_{\Delta t}\right)^2}$$

Lembrando que:

$$f(x)=\log x$$

$$\frac{df(x)}{dx}=\frac{1}{x\cdot\ln 10}$$

A partir de aqui o procedimento é o mesmo que no método 1.

Gráfico de temperatura × tempo utilizando o papel milimetrado

Dados experimentais (ΔT x t) + simulação de curva esperada usando os parâmetros ΔT_0 e τ obtidos acima $\Delta T = T - T_R = 92e^{-t/230}$

Pontos	tempo (seg)	σtempo (seg)	ΔT (°C)	$\sigma\Delta T$ (ºC)	ΔT_{sim} (°C)
1	0	0,01	90	1	92
2	49,65	0,01	75	1	74
3	102,97	0,01	60	1	59
4	170,49	0,01	45	1	44
5	220,14	0,01	36	1	35
6	262,07	0,01	30	1	29
7	311,94	0,01	24	1	24
8	364,95	0,01	19	1	19
9	404,41	0,01	16	1	16
10	448,54	0,01	13	1	13

Gráfico de temperatura × tempo utilizando o papel milimetrado

Dados experimentais (ΔT x t) + simulação de curva esperada usando os parâmetros ΔT_0 e τ obtidos acima

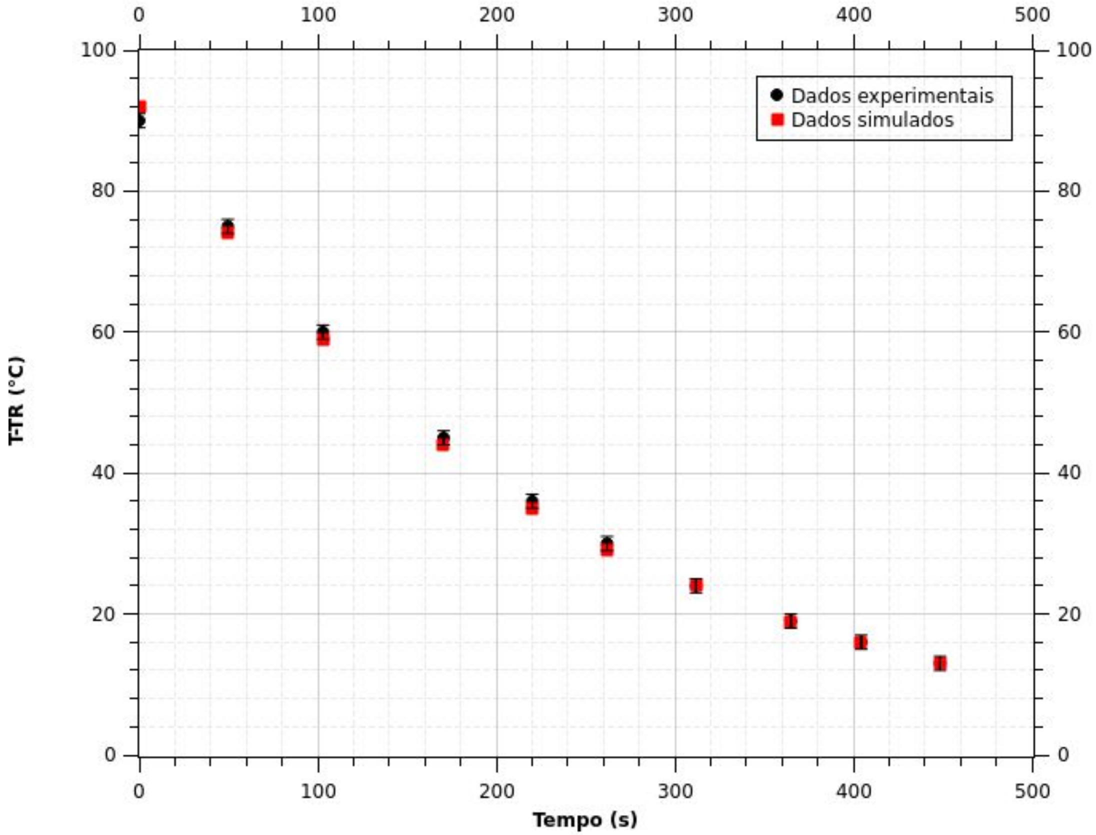
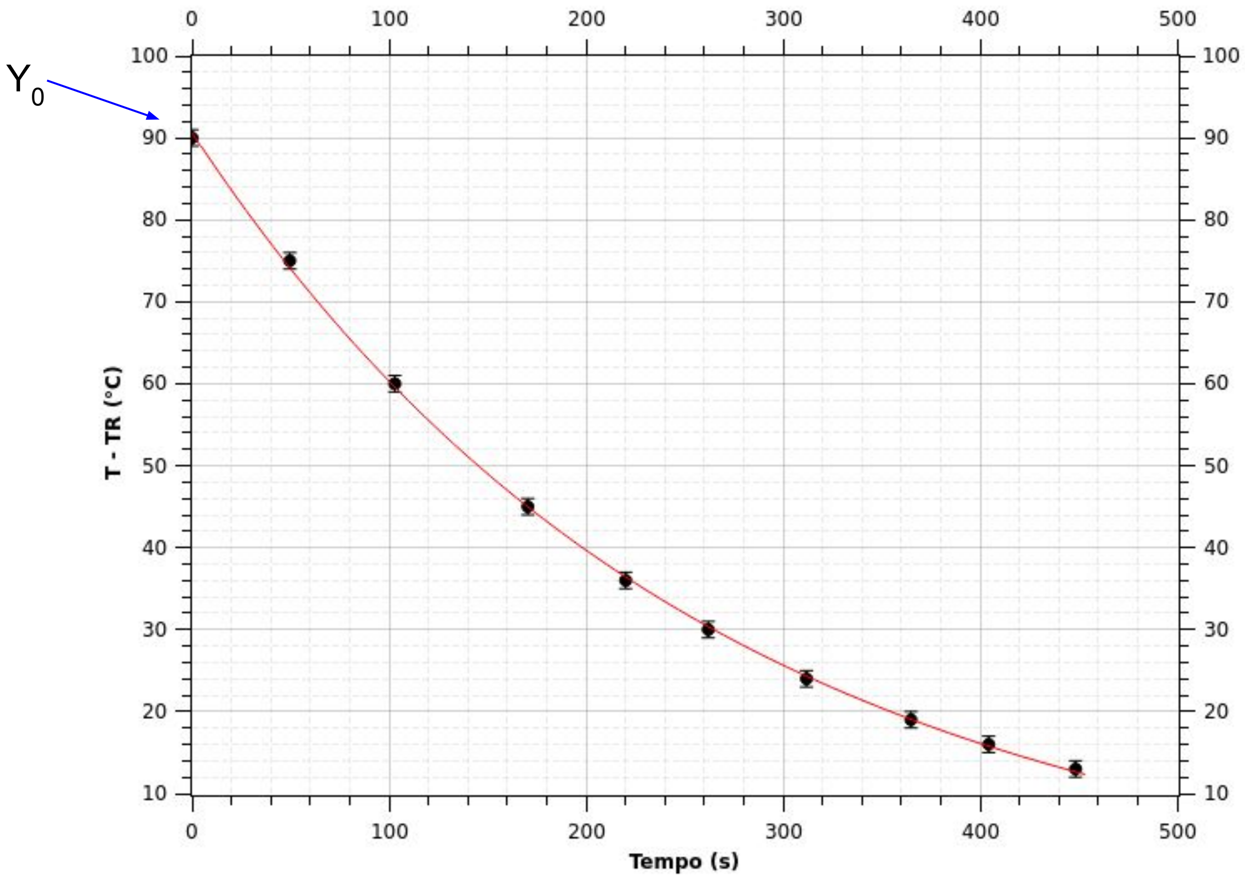


Gráfico de temperatura × tempo utilizando o papel milimetrado

Dados experimentais (ΔT x t)



Exponencial: $\mathbf{Y = Y_0\ e^{-At}}$

Determinação de Y_0 :

Y_0 = Y para t = 0

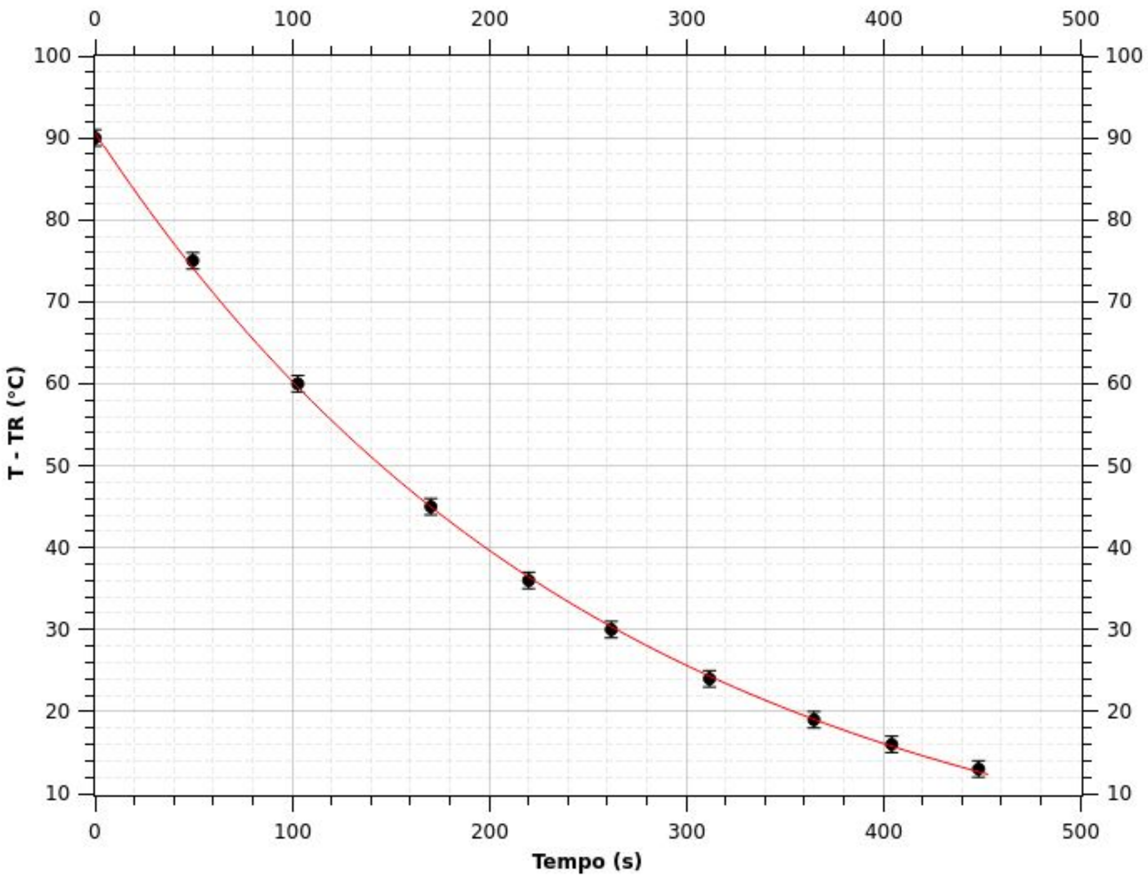
Para nosso caso:

$$\Delta T = \Delta T_0 e^{-t/\tau}$$

$$\boxed{\Delta T_0 = (91 \pm 1)^o C}$$

Gráfico de temperatura × tempo utilizando o papel milimetrado

Dados experimentais (ΔT x t)



Exponencial: $\mathbf{Y = Y_0\, e^{-At}}$

Determinação de A :

Conceito de meia vida

é o tempo que leva para a quantidade inicial reduzir-se à metade.

$$\frac{Y_0}{2} = Y_0 \cdot e^{-A \cdot t_{1/2}}$$

$$\ln\left(\frac{1}{2}\right) = \ln\left(e^{-A \cdot t_{1/2}}\right)$$

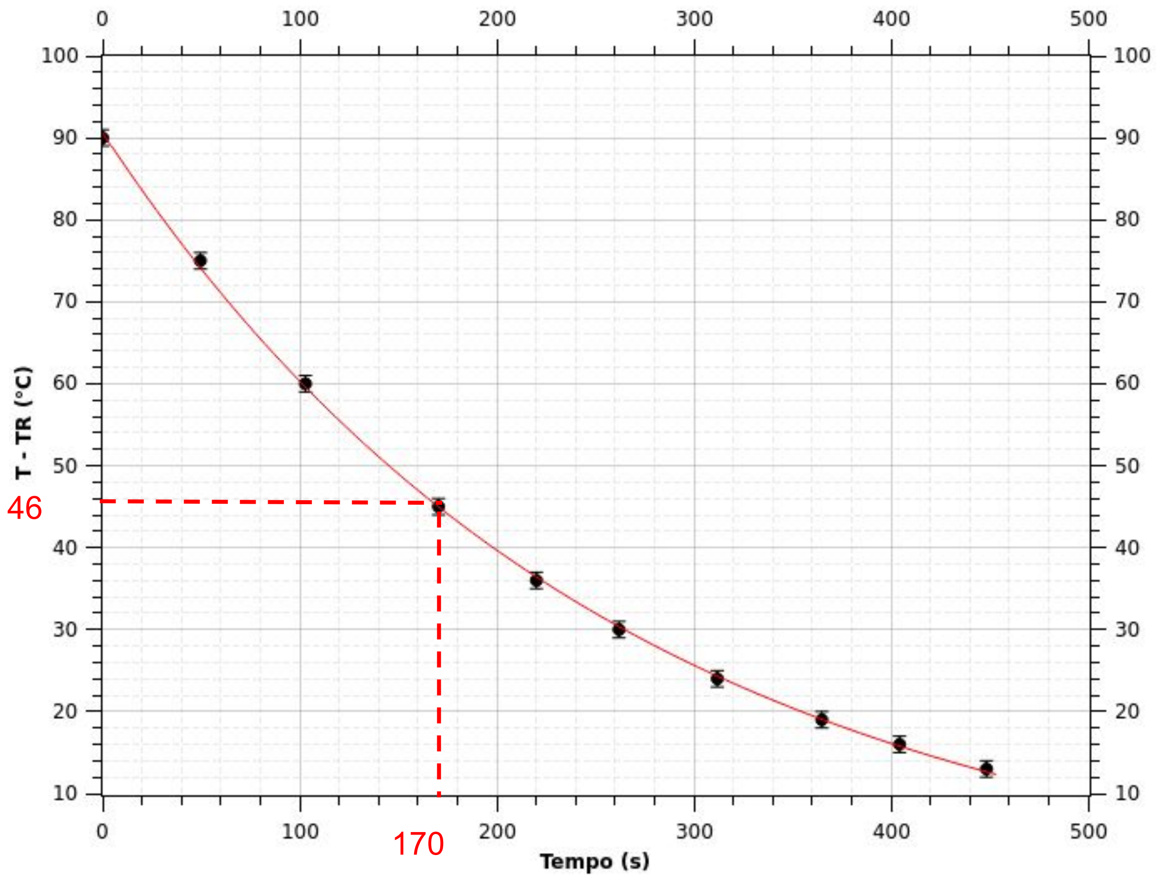
$$\ln\left(\frac{1}{2}\right) = -A \cdot t_{1/2}$$

$$\ln(2) = A \cdot t_{1/2}$$

$$A = \frac{\ln(2)}{t_{1/2}}$$

Gráfico de temperatura × tempo utilizando o papel milimetrado

Dados experimentais (ΔT x t)



Exponencial: $\mathbf{Y = Y_0\ e^{-At}}$

Para nosso caso:

$$\Delta T = \Delta T_0 e^{-t/\tau}$$

$$A = \frac{\ln(2)}{t_{1/2}} = \frac{\ln(2)}{170} = 0{,}0040\ s^{-1}$$

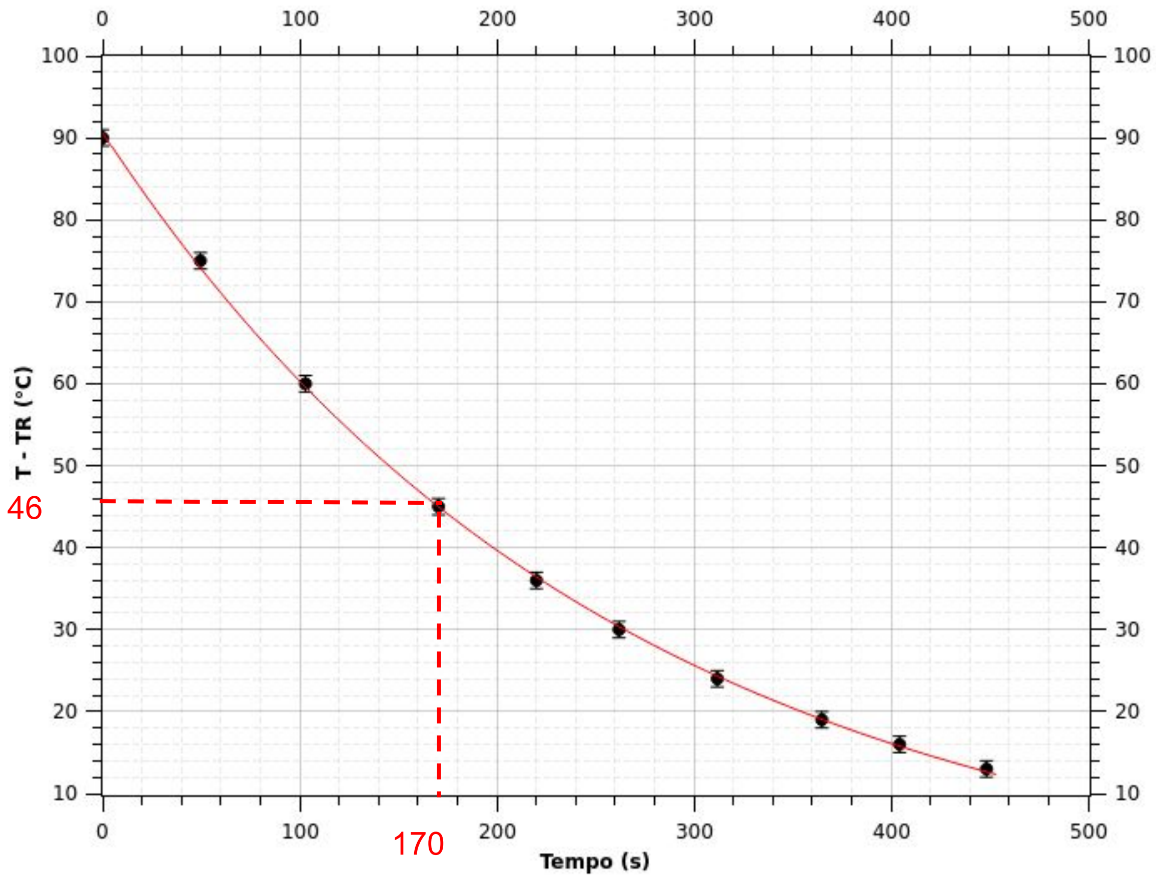
$$\frac{\sigma_A}{A} = \frac{\sigma t_{1/2}}{t_{1/2}}$$

$$\sigma_A = A\frac{\sigma t_{1/2}}{t_{1/2}} = 0{,}0040\ \frac{10}{170} = 0{,}0002\ s^{-1}$$

$$A = (0{,}0040 \pm 0{,}0002)\ s^{1}$$

Gráfico de temperatura × tempo utilizando o papel milimetrado

Dados experimentais (ΔT x t)



Exponencial: $\mathbf{Y = Y_0\, e^{-At}}$

Para nosso caso:

$$\Delta T = \Delta T_0 e^{-t/\tau}$$

$$A = (0{,}0040 \pm 0{,}0002)\, s^1$$

Temos que:

$$\tau = \frac{1}{A} = \frac{1}{0{,}0040} = 245{,}26\, s$$

$$\sigma_\tau = \tau \frac{\sigma_A}{A} = 245{,}26 \frac{0{,}0002}{0{,}0040} = 12\, s$$

$$\boxed{\tau = (245 \pm 12)\, s}$$

Questão:

A taxa de decaimento da ocorrência de uma certa doença é descrita pela equação:

$$N(t) = N_0 e^{-kt}$$

Na Tabela 1 temos alguns valores do número de ocorrências da doença em função do número de anos.

Tabela 1. Ocorrências de uma certa doença para alguns anos.

t (anos)	1,1	2	4,7	5,5	6,7
N(t)	50	33	10	7	4

Determine os parâmetros N_O e k, a partir de uma análise gráfica desse conjunto de dados.

Na aula de hoje

- **Conceitos:**
  - **Análise de dados**

    Análise Gráfica - escala logarítmica

    Dedução empírica de uma lei física

- **Experiência 7: Cordas vibrantes**

Referências para a aula de hoje:

- Apostila do curso (página principal do moodle):
  - Experiência VII (aulas 11 e 12) - Cordas Vibrantes

- Aba Experimento # 7 - Cordas vibrantes:
  - Tabela densidades linear dos fios.

Como definir uma onda?

Definição:

São perturbações sofridas por um certo meio e que se propagam no mesmo.

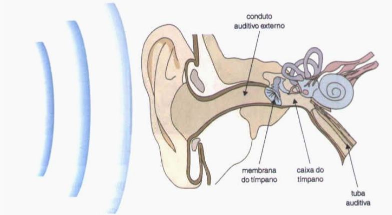
Tipos:

Mecânicas: necessitam de um meio material para se propagarem.

Ex.: ondas numa corda de violão,

ondas na superfície de um lago,

ondas sonoras no ar, ultrassom…



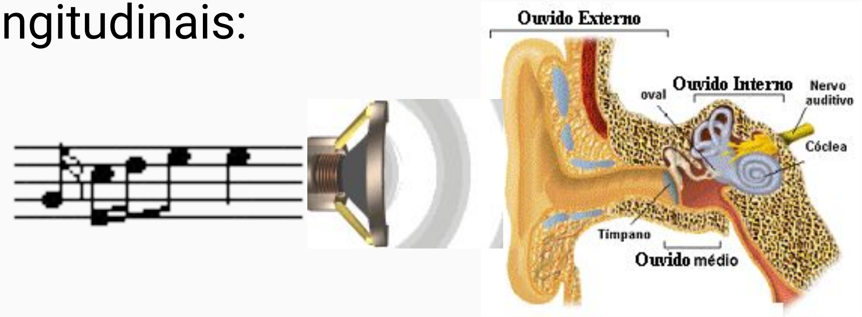
Eletromagnéticas: propagam-se em meios materiais e até no vácuo.

Ex.: ondas de rádio, micro-ondas, IV, luz visível,
UV, raios X, raios gama.

Ondas – Conceitos básicos

- Ondas podem ser **longitudinais**:

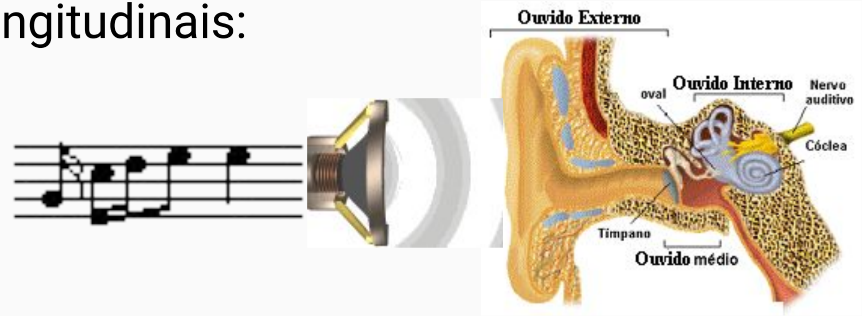
Ondas ***sonoras*** são longitudinais:



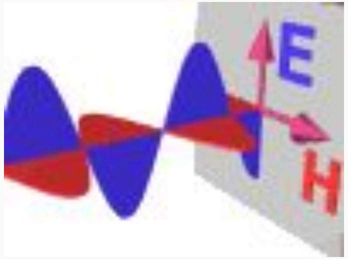
Ondas – Conceitos básicos

- Ondas podem ser **longitudinais**:

Ondas ***sonoras*** são longitudinais:



- Ondas podem ser **transversais**:



Ondas ***eletromagnéticas*** são transversais.

Ondas – Conceitos básicos

Ondas propagam-se em uma corda, e **se há vinculo** imposto no seu extremo, o seu comportamento na reflexão é assim:

□**Extremo Fixo**.
Observa-se a **inversão da fase da onda refletida**.

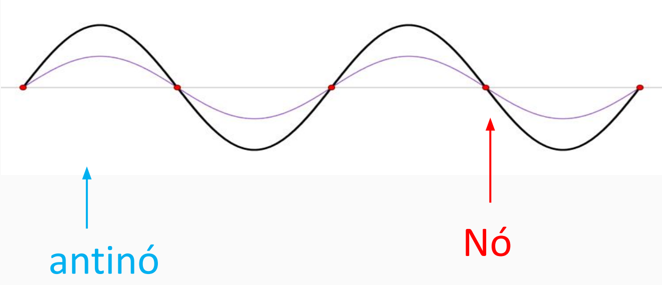
Se **não há vínculo** imposto no seu extremo, o seu comportamento na reflexão é assim:

□**Extremo Livre**.
Sem inversão da fase da onda refletida.

Caso Especial: Onda Estacionária

- É uma onda que oscila no tempo, mas cuja amplitude de pico das oscilações da onda em qualquer ponto no espaço é constante em relação ao tempo, e as oscilações em diferentes pontos ao longo da onda estão em fase.
- Causas:
  - Pela interferência entre duas ondas de mesma amplitude e mesmo comprimento de onda que se propagam em sentidos opostos.

Os locais em que o valor absoluto da amplitude é mínimo são chamados de nós, e os locais onde o valor absoluto da amplitude é máximo são chamados de antinós.



Lucas Vieira - Domínio público, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=535974

Experiência: Cordas Vibrantes

- Objetivo do experimento:
  - Estudar os modos de vibração de uma corda presa em suas extremidades.

- Exemplo de sistemas que usam esses modos:
  - Instrumentos musicais de corda

- Na ausência de um modelo teórico iremos estabelecer uma função de maneira empírica:
  - Ajuste dos dados experimentais
    - Variação de diversos parâmetros

Vibração de uma corda

- Talvez um dos primeiros estudos experimentais registrado na história da civilização ocidental:
  - Pitágoras estudou a dependência de diferentes fatores no som de uma corda tensionada em um monocórdio.

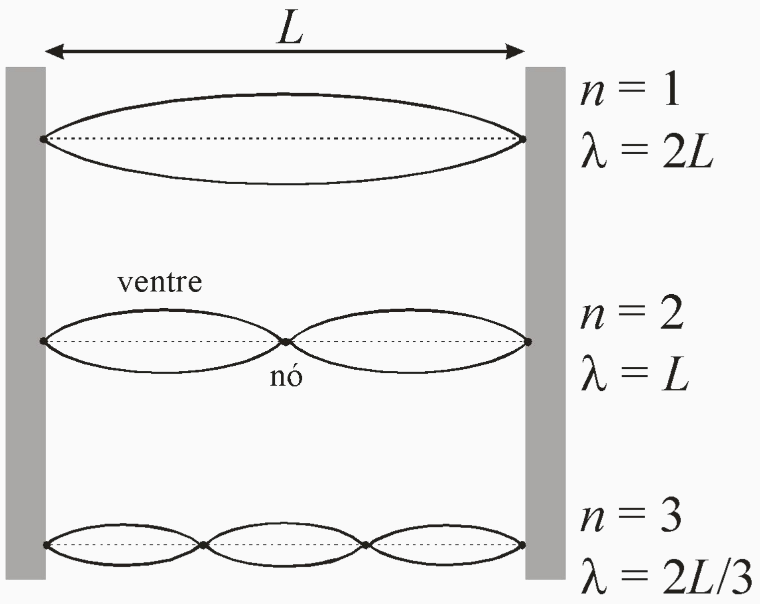
Monocórdio de Pitágoras

- Seja uma corda ou um fio preso em suas extremidades (como uma corda de violão). Ao puxarmos essa corda, como ela deverá vibrar?

- Quais características da corda e da forma como ela está presa influenciam a maneira de como ela vibrará?

Modos de vibração de um fio

- Fio preso nas duas extremidades
  - Essa condição limita as configurações possíveis de ondas estacionárias
  - Surgem os modos de vibração ou frequências de ressonância

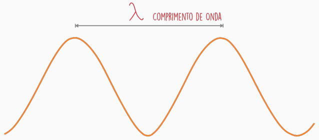


As frequências de ressonância dependem de que parâmetros?

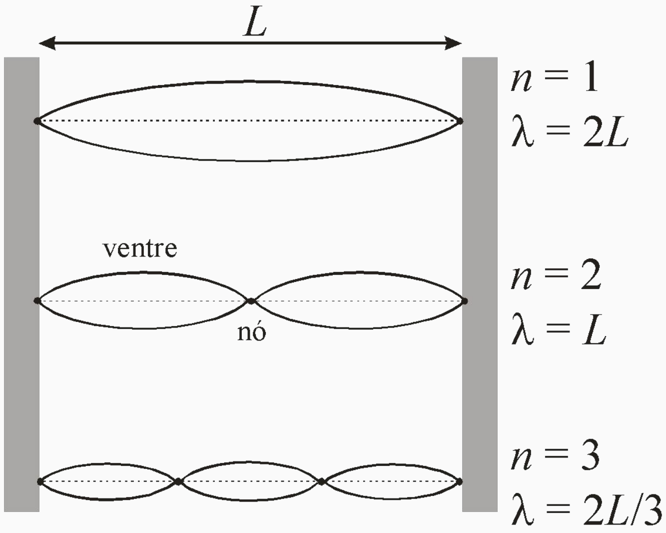
- Modo de vibração:
  - Diminuindo o comprimento de onda, aumenta-se a frequência:

$$f = \frac{v}{\lambda}$$

v : velocidade da onda
λ: comprimento de onda
f: frequência



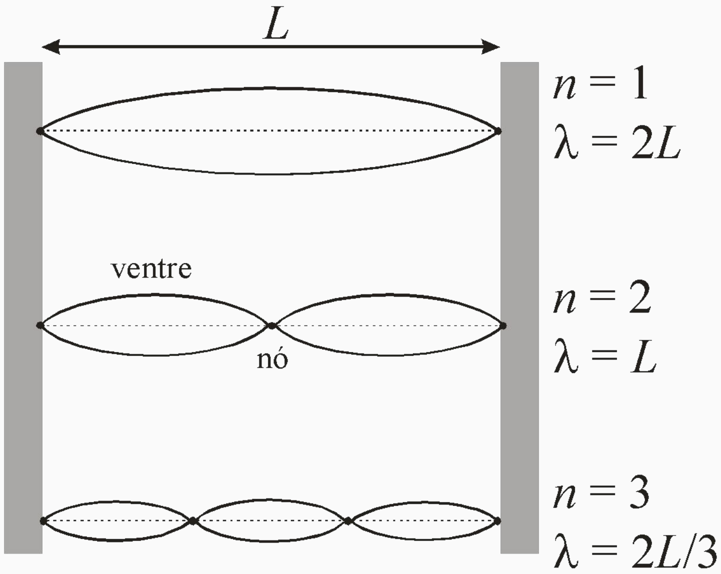
- Comprimento do fio
  - Quanto maior o comprimento do fio, maior o comprimento de onda para o mesmo modo de vibração.



As frequências de ressonância dependem de que parâmetros?

- Densidade do fio
    - Fios de densidade diferentes vibram em frequências diferentes

- Tensão aplicada ao fio
    - Variando-se a tensão, varia-se a frequência.



As frequências de ressonância dependem de que parâmetros?

- Assim, os parâmetros principais são
  - Modo de vibração (n)
  - Comprimento do fio (L)
  - Densidade (μ)
    - Vamos usar a densidade linear $\mu = m / L$
  - Tensão aplicada (T)
- Como correlacionar a frequência com esses parâmetros?
  - Tomar os dados e analisá-los
    - Estudar variação da frequência com cada parâmetro

Descrição empírica

- Como obter uma expressão para a frequência de ressonância?

- Hipótese:
  - Supor que a frequência depende de um parâmetro como uma potência deste parâmetro

$$f(x) = A \cdot x^b$$

  - No caso dos nossos parâmetros, supor uma combinação de potências

$$f_n = C\, n^{\alpha} L^{\beta} T^{\gamma} \mu^{\delta}$$

Descrição empírica

- Determinar os valores dos coeficientes α, β, γ, δ a partir dos dados. Como?

- Para um determinado parâmetro, com todos os outros fixos, podemos escrever que:

$$f(x) = A \cdot x^b$$

- Por exemplo: para todos os parâmetros fixos e variando apenas *n* :

$$f_n = Bn^{\alpha}$$

$$B = cte = CL^{\beta} T^{\gamma} \mu^{\delta}$$

Descrição empírica

- Fixar todos os parâmetros e variar somente *n* :

$$f_n = Bn^{\alpha} \qquad \text{, onde:} \qquad B = cte = CL^{\beta}T^{\gamma}\mu^{\delta}$$

- Como determinar *B* e α?
  - Extrair o logaritmo da expressão acima:

$$\log(f_n) = \log(Bn^{\alpha})$$

$$\log(f_n) = \log(B) + \alpha \cdot \log(n)$$

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

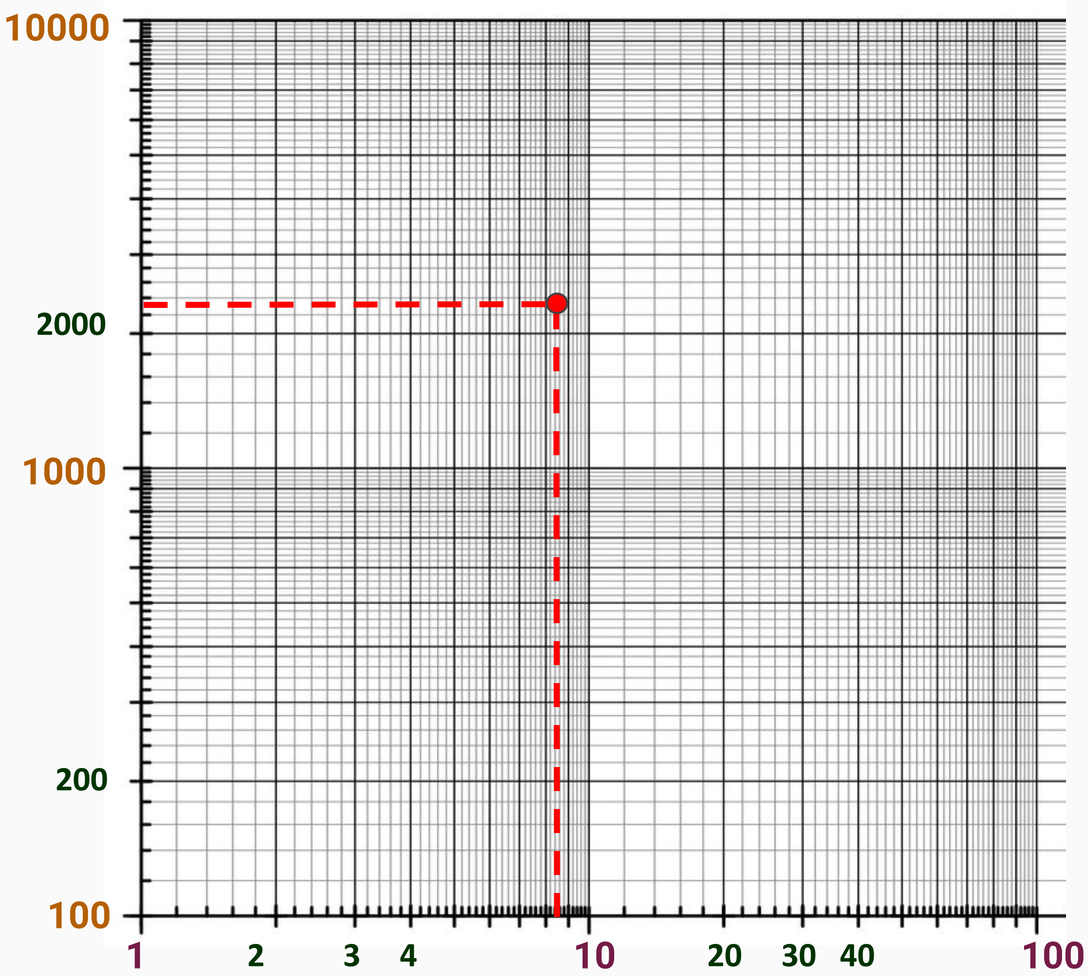
$$\underbrace{y = \log(f_n)}_{\textbf{função}} \qquad \underbrace{x = \log(n)}_{\textbf{variável}} \qquad \underbrace{a = \log(B)}_{\textbf{Coef. linear}} \qquad \underbrace{b = \alpha}_{\textbf{Coef. ang}}$$

Escala Logarítmica

- A fim de facilitar a construção desse gráfico e evitar que tenhamos que calcular o logaritmo de todos os dados, podemos utilizar o chamado papel di-log (base 10).

- Nesse papel, tanto o eixo-x como o eixo-y são construídos de forma que o comprimento real no papel corresponde ao logaritmo do número marcado na escala do gráfico
  - Analogamente ao eixo y no papel monolog

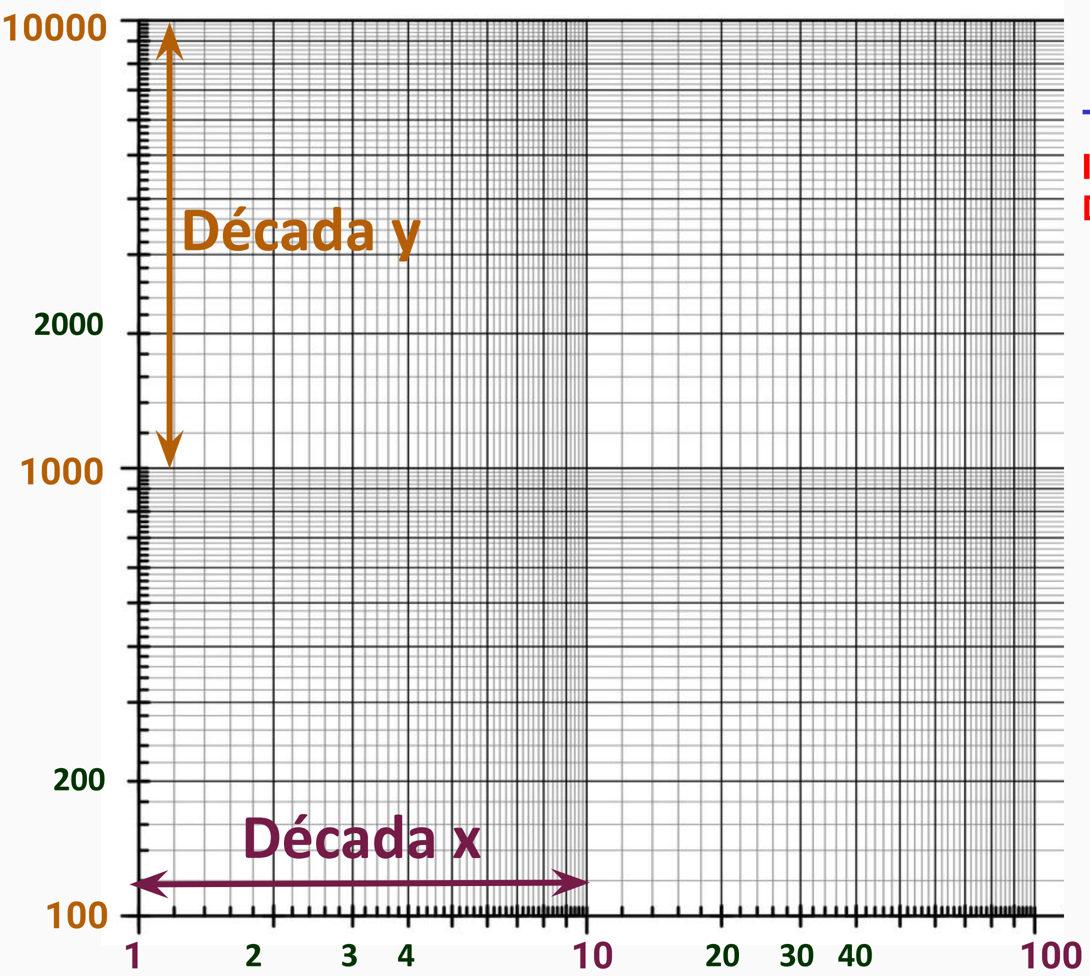
Papel Di-log



P = (8,5; 2350)

Valores diferentes no início das escalas de x e y

Papel Di-log



Tamanhos das décadas:
Iguais no mesmo eixo
Diferentes nos eixos x e y

Obtendo o expoente

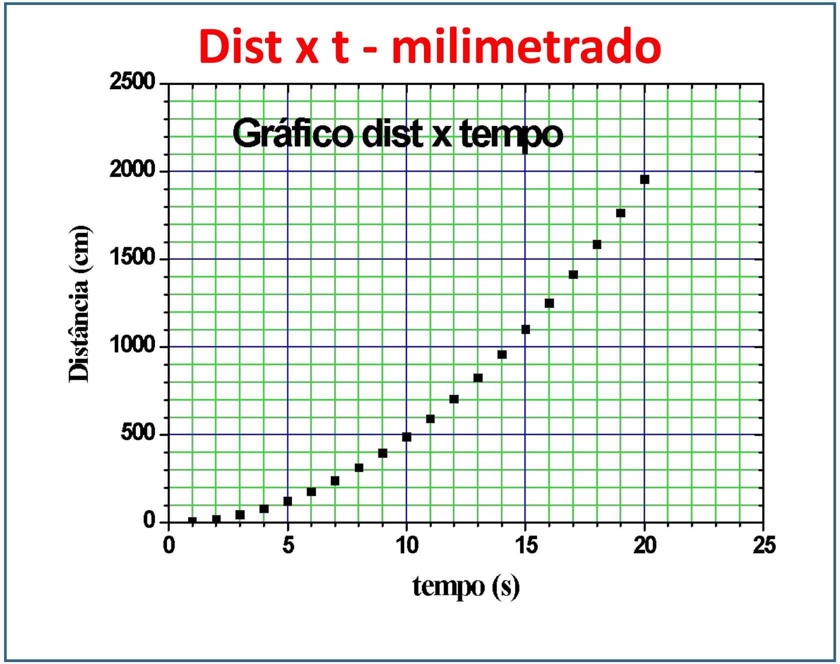
$$d = \frac{1}{2} g t^2$$

Linearização da função

$$\log(d) = \log\left(\frac{1}{2} g\right) + 2\log(t)$$

$$y \quad = \quad a \quad + \; b \; x$$

Coef ang = 2

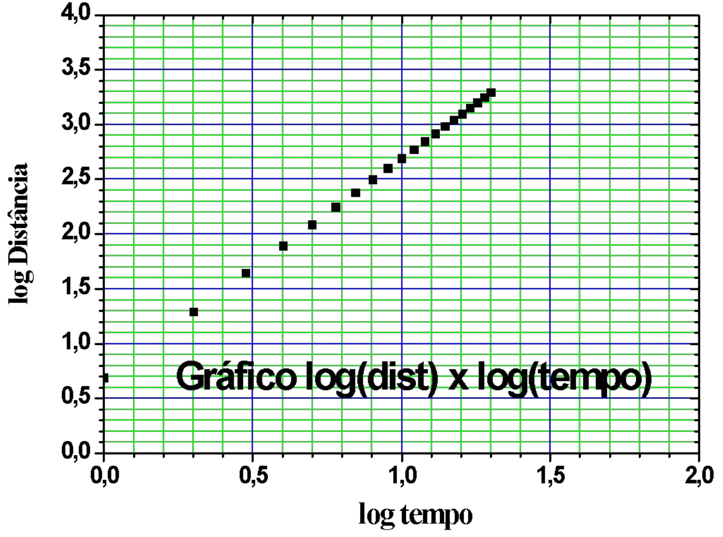


Obtendo o expoente

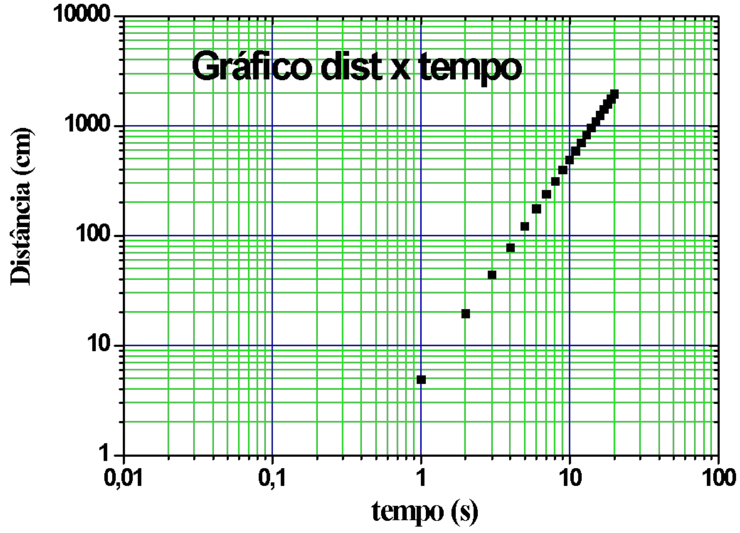
$$\log(d) = \log\left(\frac{1}{2}g\right) + 2\log(t)$$

$$y \quad = \quad a \quad + b \quad x$$

Log (dist) x log (t) - milimetrado



Dist x t - di-log



Obtendo o expoente

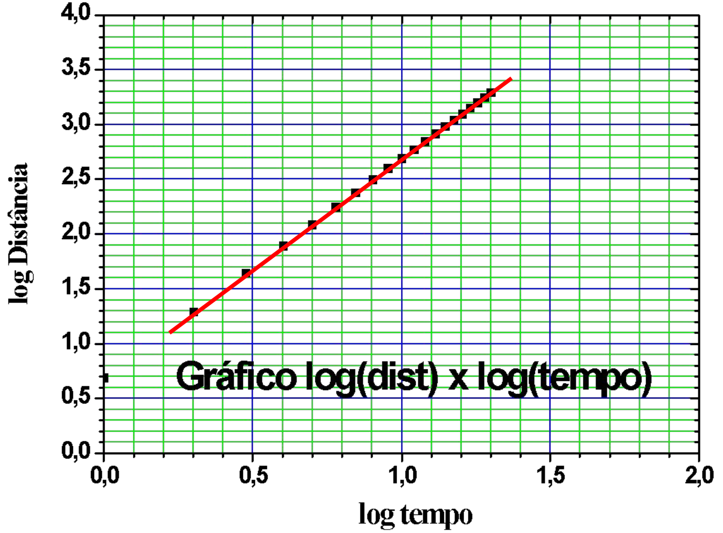
$$\log(d) = \log\left(\frac{1}{2}g\right) + 2\log(t)$$

$$y \quad = \quad a \quad + b \quad x$$

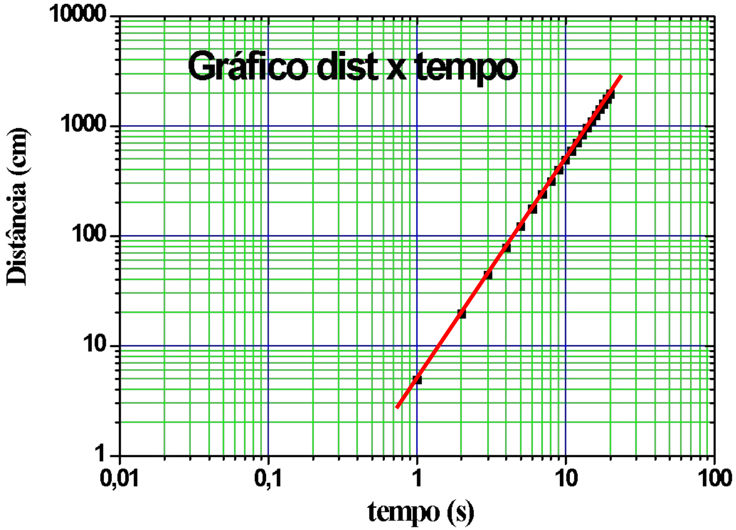
Ajuste de reta

Porque as retas não possuem a mesma inclinação?

Log (dist) x log (t) - milimetrado



Dist x t - di-log



Obtendo o expoente

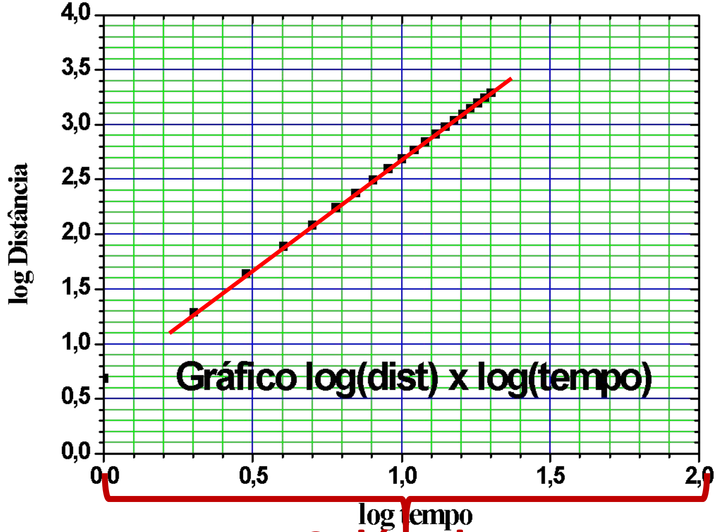
$$\log(d) = \log\left(\frac{1}{2}g\right) + 2\log(t)$$

$$y \quad = \quad a \quad + b \quad x$$

Ajuste de reta

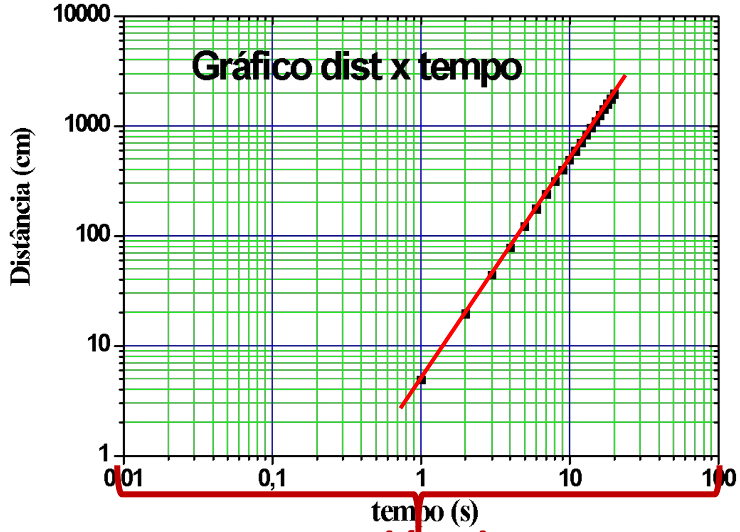
Porque as retas não possuem a mesma inclinação?

Log (dist) x log (t) - milimetrado

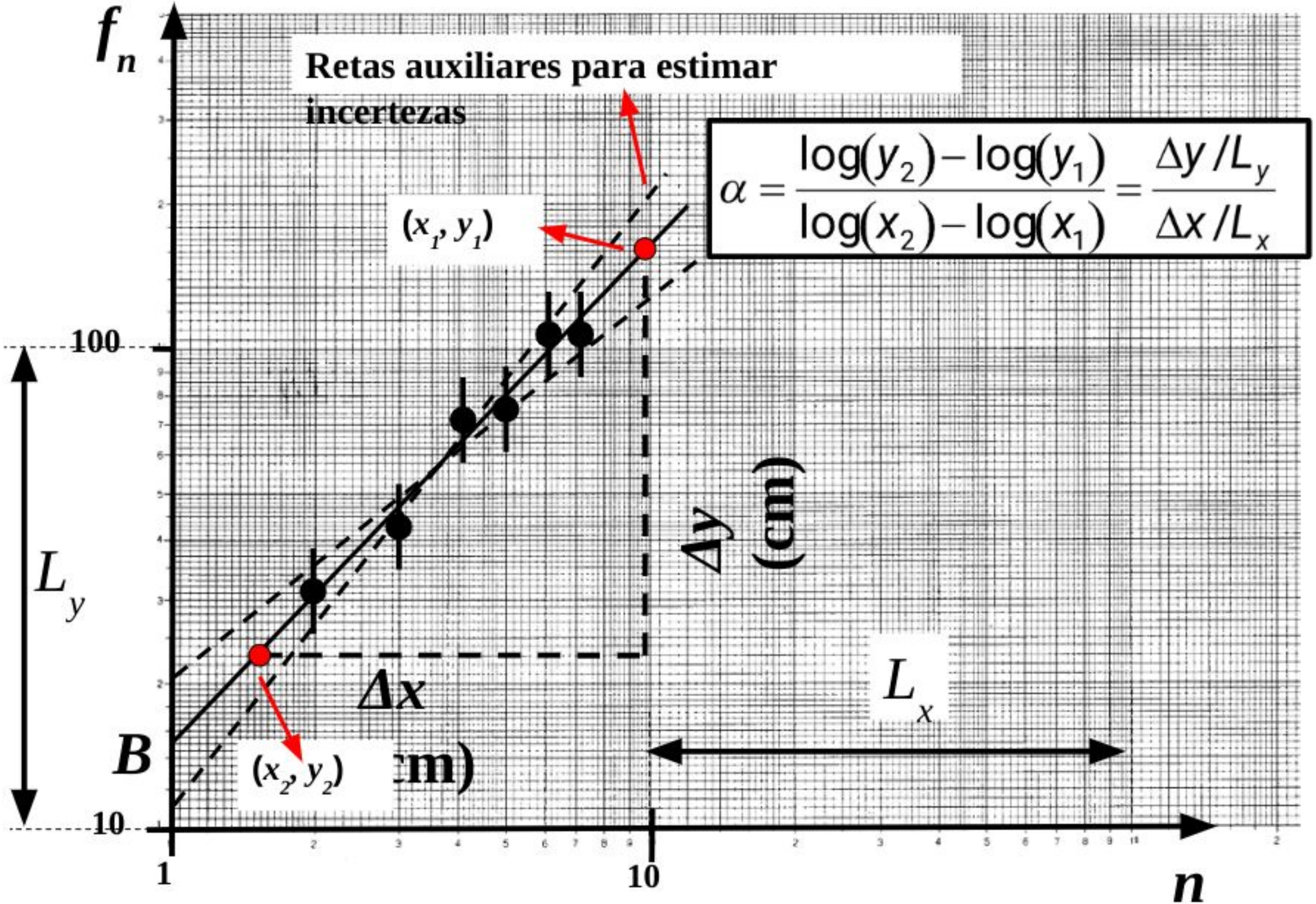


2 décadas

Dist x t - di-log

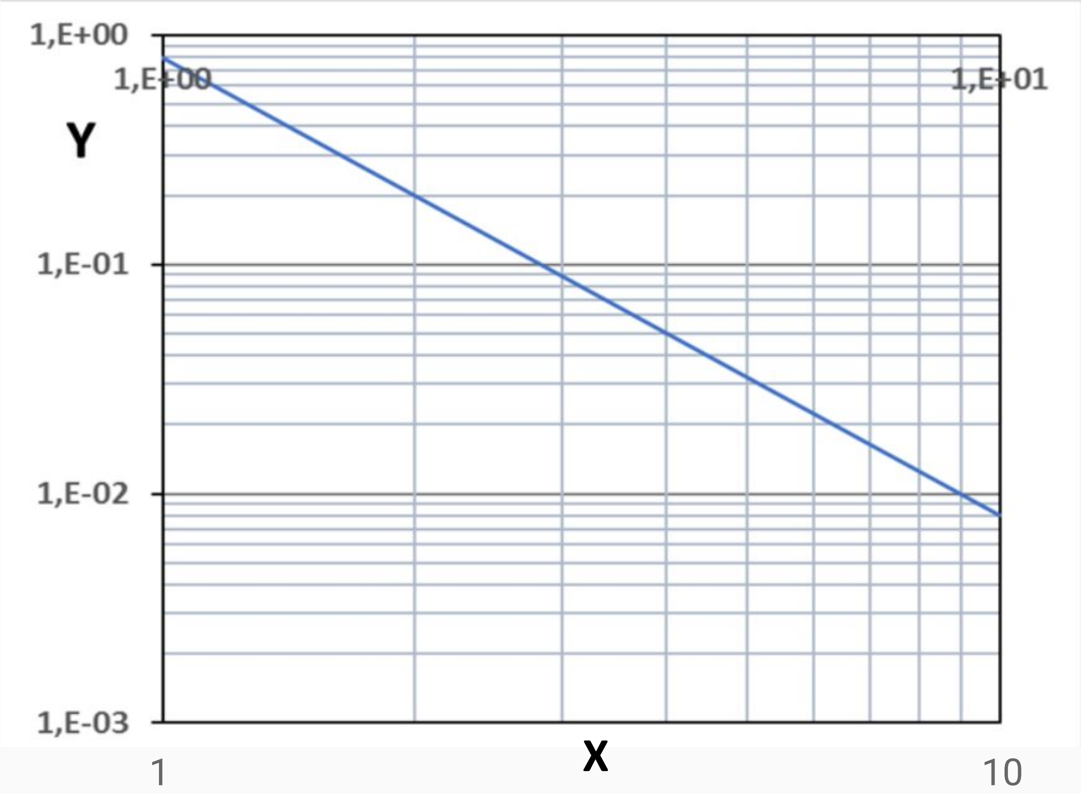


4 décadas


f_n
Retas auxiliares para estimar incertezas
(x_1, y_1)
$\alpha = \frac{\log(y_2) - \log(y_1)}{\log(x_2) - \log(x_1)} = \frac{\Delta y / L_y}{\Delta x / L_x}$
100
L_y
Δy (cm)
Δx
L_x
B
(x_2, y_2)
cm)
10
1
10
n

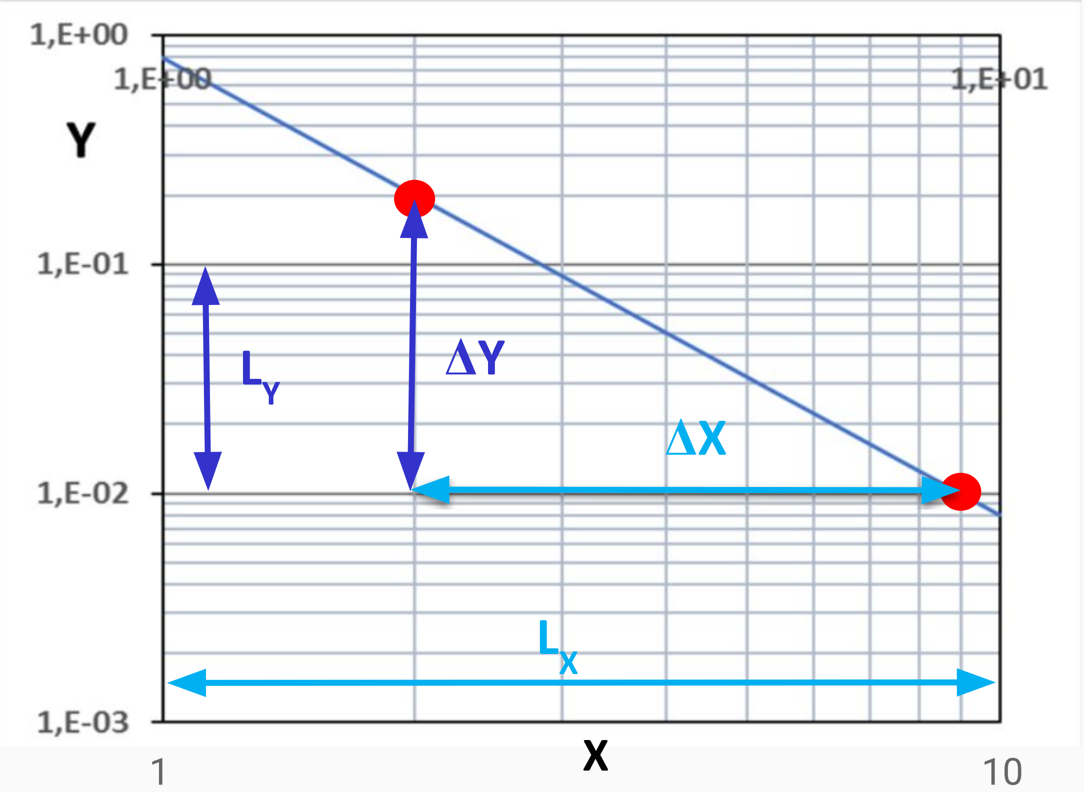
Exercício em aula

Obtenha o coeficiente b da expressão: $Y=aX^b$



Exercício em aula

Obtenha o coeficiente b da expressão: $Y=aX^b$



1) Escolher 2 pontos afastados na reta
(2;0,2)
(9; 0,01)
2) Determinar o expoente através de:

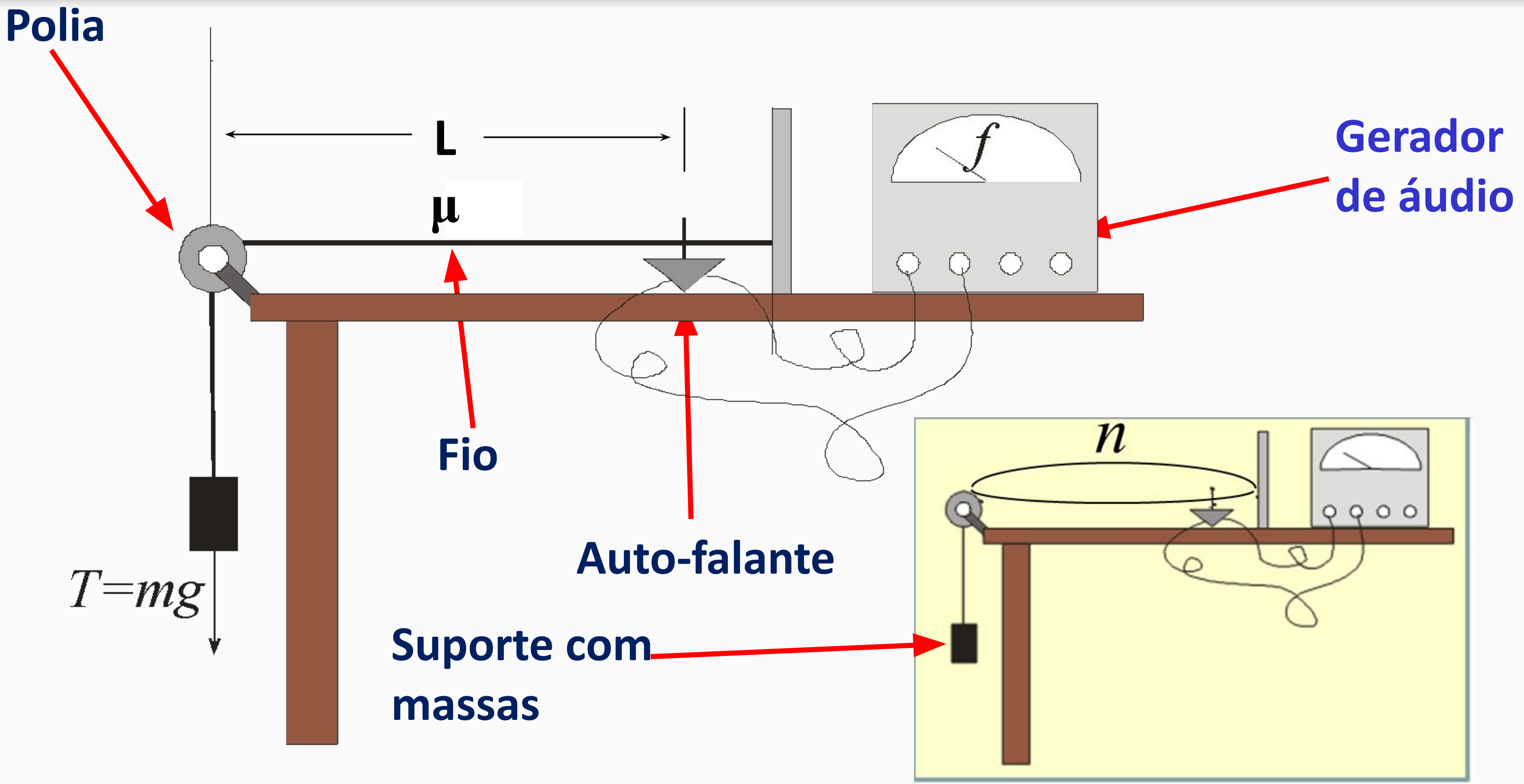
$$b = \frac{\Delta Y / L_y}{\Delta X / L_x}$$

Medidas com régua

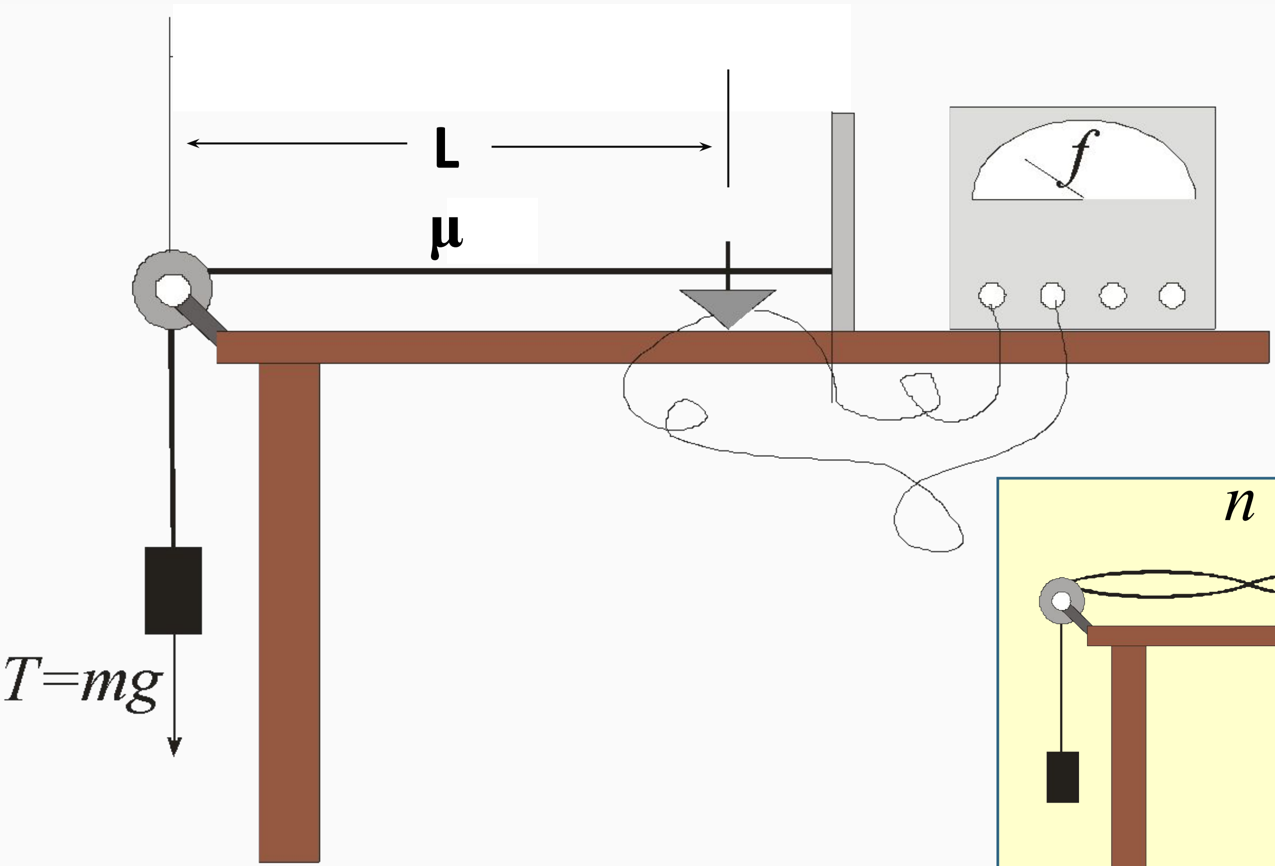
b = -2,0

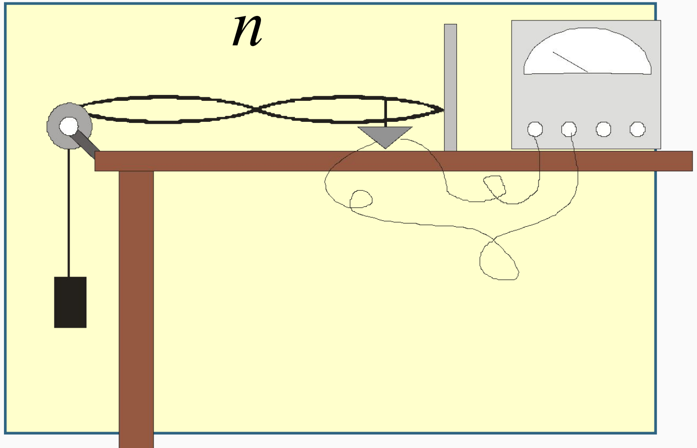
Atividade prática

Arranjo experimental



Arranjo experimental





Arranjo experimental

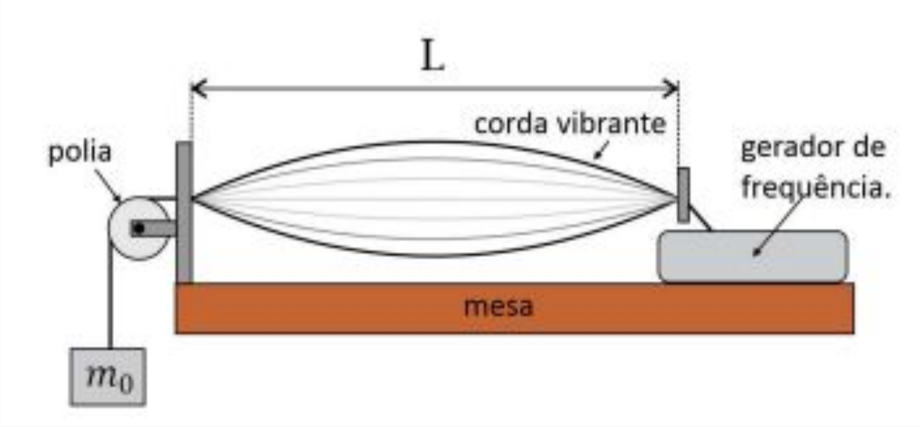


Tabela de densidades lineares de fios de nylon
(atualizada em Maio/2011)

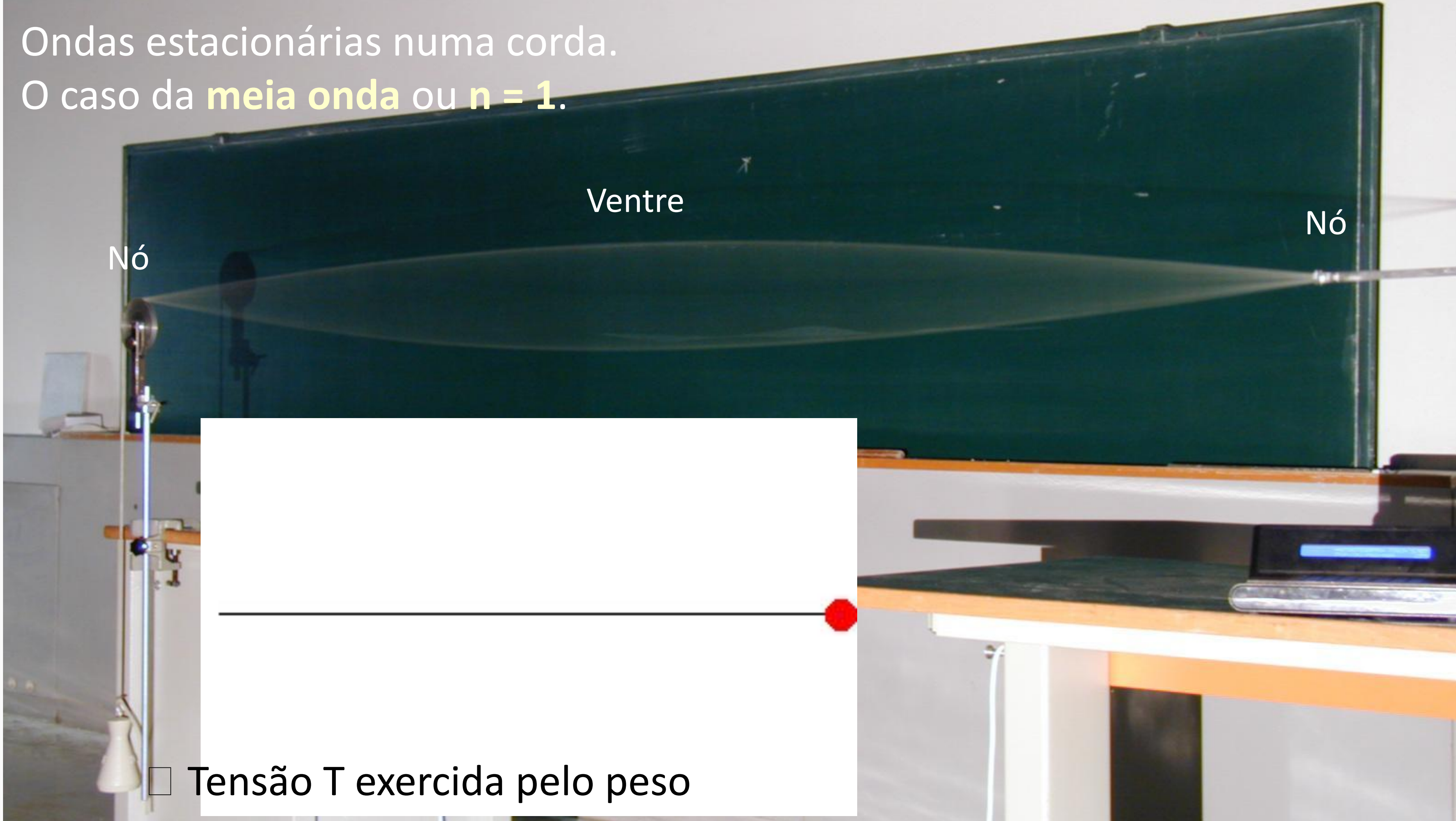
Φ (mm)	μ (mg/m)
0,20	40,95
0,25	64,10
0,30	88,40
0,40	157,7
0,45	200,3
0,50	250,4
0,60	323,5
0,70	471,3
0,80	596,3
0,90	784,5

Procedimento experimental

- Quatro parâmetros a serem estudados: n, L, μ e T
  - Exemplo: Como a frequência depende de n ?
    - Fixar (e anotar, com a respectiva incerteza) todos os outros parâmetros
      - Anotar μ do fio de nylon que está montado no seu no arranjo experimental
      - Escolher uma massa, medir na balança e anotar seu valor
      - Medir o comprimento L com uma trena
    - Ler as frequências de ressonância para vários valores de n.
    - Medir valores ligeiramente acima (F>) e abaixo (F<) da frequência ideal
      - Assim: $Fr = (F_> + F_<)/2$ e $\text{Inc freq} = (F_> - F_<)/2$
    - Anotar dados na planilha online!

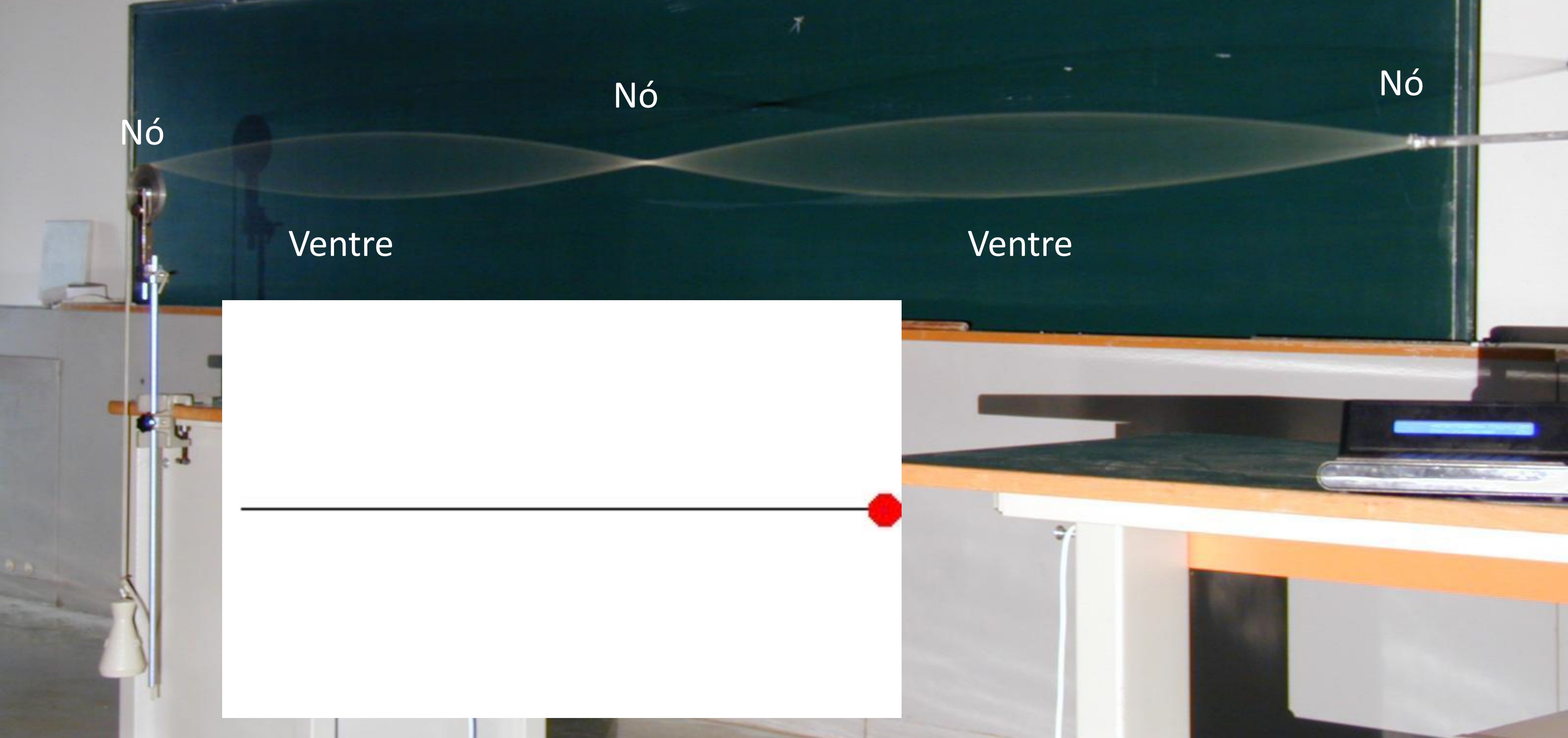
Ondas estacionárias numa corda.

O caso da **meia onda** ou **n = 1**.

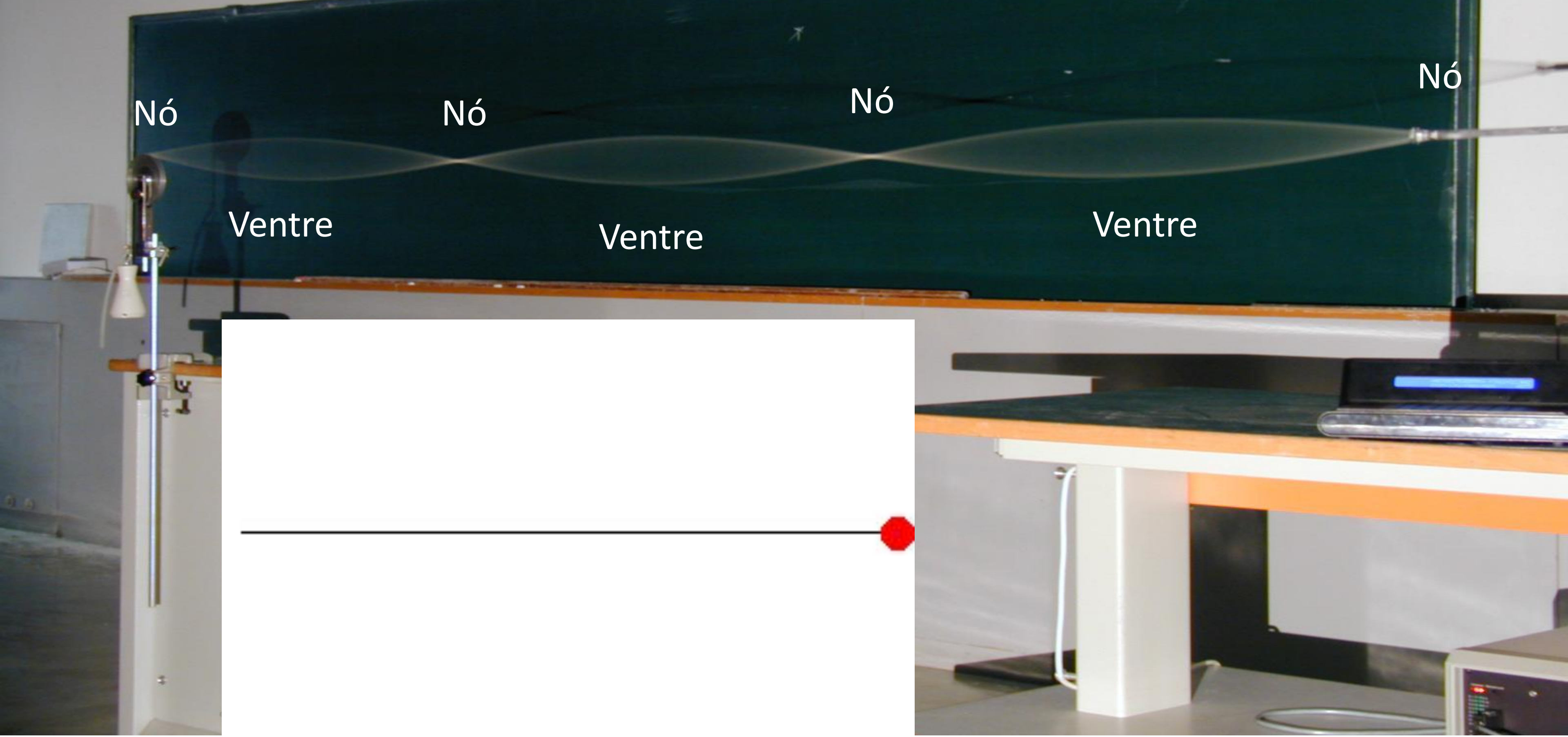


- Tensão T exercida pelo peso

Ondas estacionárias numa corda.
O caso da **onda inteira** ou **n = 2**.



Ondas estacionárias numa corda.
O caso de **1½ onda** ou **n = 3**.



Procedimento experimental

- Em seguida, cada grupo deveria variar os outros parâmetros seguindo o mesmo procedimento.
  - Exemplo: variação com o parâmetro T (ou seja, os valores de massa)
    - Estudar como a frequência do segundo modo de vibração ($n=2$) depende deste parâmetro.
    - Não esqueça de manter fixos os outros parâmetros (anote os respectivos valores e incertezas)
    - Fazer 6-7 medidas, variando a massa
    - Usar o mesmo procedimento anterior para determinação de frequência e respectiva incerteza
    - Anotar dados na planilha online!

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

Análise dos dados

- Fazer o gráfico di-log das frequências de ressonância como função dos parâmetros medidos:
  - *Gráfico 1: f vs modo de vibração (n)*
  - *Gráfico 2: f vs tensão no fio (m)*
- Grupos de 2 alunos: aluno 1 faz o gráfico 1.

  aluno 2 faz o gráfico 2.
- Grupos de 3 alunos: aluno 1 faz o gráfico 1.

  aluno 2 faz o gráfico 2.

  aluno 3 também faz o gráfico 1.
- Os dados realmente são uma reta no papel di-log?
  - Calcular os coeficientes angulares (com incerteza) para os dados acima.

Análise dos dados

Tabela 1: Frequência em função dos modos de vibração (número de ventres).
Dados dos outros parâmetros: Comprimento do fio: (1,234 ± 0,002) m;
Diâmetro do fio: (0,70 ± 0,01) mm; Massa: (78,3 ± 0,1) g

modo	Frequência (Hz)	σ_{Freq} (Hz)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		

Tabela 2: Frequência em função da massa usada para tensionar o fio.
Dados dos outros parâmetros: Comprimento do fio: (1,234 ± 0,002) m;
Diâmetro do fio: (0,70 ± 0,01) mm; Número de ventres: 2

Massa (g) ± 0,1 g	Frequência (Hz)	σ_{Freq} (Hz)

Relatório

Organização

Entregar análise inicial na próxima aula !

Resumo

Propostas + métodos + resultados

Introdução

Justificativa (Proposta), Objetivos, Parte teórica

Procedimento/Arranjo experimental - descrição simplificada

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

Tabelas, cálculos, gráficos, incertezas com justificativas

Discussão dos dados

Comparações entre métodos ou valores teóricos,

Críticas: método, resultados, incertezas

Conclusão

Resposta às propostas apresentadas

Referências bibliográficas

Mais detalhes: Apostila de IMF, cap. V.

Para a próxima aula (30/06):

- No moodle (aba Experimento # 7 – Cordas Vibrantes):
  - Exercício de casa - Sexta de manhã (até dia 30/06).

- Entrega análise da parte 1 do relatório

- Dúvidas para P2

  Prova 2 – Todos os experimentos

Gisell Ruiz Boiset
gisell@if.usp.br

Bloco F – Conjunto
Alessandro Volta – sl. 209