

# **Introdução às Medidas em Física**

**4300152**

**6<sup>a</sup> Aula – Queda Livre**

# **Experiência IV: Movimento de Queda**

## **Objetivos:**

**Estudar o movimento de queda de um objeto**

**Medidas indiretas**

**Medida da velocidade de um objeto**

**Análise de dados**

**Análise Gráfica**

**Comparação com um modelo**

# **Estudo do Movimento de Queda de um Objeto**

**Realizar a medida do movimento de um corpo em queda:**

**tomando todos os cuidados experimentais necessários para possibilitar uma correta utilização dos dados posteriormente;**

**utilizar técnicas de análise de dados;**

**e interpretar os resultados a partir de um modelo físico do experimento.**

# **Estudo do Movimento de Queda de um Objeto**

**Quais são as características desse movimento?**

**Questão polêmica no século XVII - Aristóteles X Galileu;**

**experimento realizado por Galileu representou o nascimento do método científico;**

**Ele corresponde a uma queda livre? Como verificar isso?**

# Hipótese sobre o movimento

Um corpo em queda está sob a influência de uma força constante, a força da gravidade, portanto se movimenta com uma aceleração constante:

$$\vec{F} = m\vec{g} = m \frac{dv}{dt}$$

...e a aceleração não depende da massa  $m$ !

# Hipótese sobre o movimento

Se essa hipótese estiver correta, o movimento de um corpo caindo livremente (sem outras forças agindo sobre ele além da gravidade) será dado por:

$$\begin{aligned} \vec{v}(t) &= \vec{v}_0 + \vec{g} \cdot t \\ \vec{x}(t) &= \vec{x}_0 + \vec{v}_0 \cdot t + \frac{\vec{g}}{2} \cdot t^2 \end{aligned}$$

# Como realizar essa medida?

**Se deixarmos o objeto cair de uma altura de 2 metros, que velocidade esperamos que o objeto tenha ao chegar ao solo?**

**Use a hipótese da queda livre.**

**É possível medir o seu tempo de queda usando um cronômetro?**

**Tire suas conclusões das aulas anteriores.**

# Proposta para análise

**Como podemos verificar se o modelo da queda livre descreve o nosso experimento?**

**Verificando se a velocidade ( $v(t)$ ) apresenta uma dependência linear com o tempo ( $t$ ), isto é,**

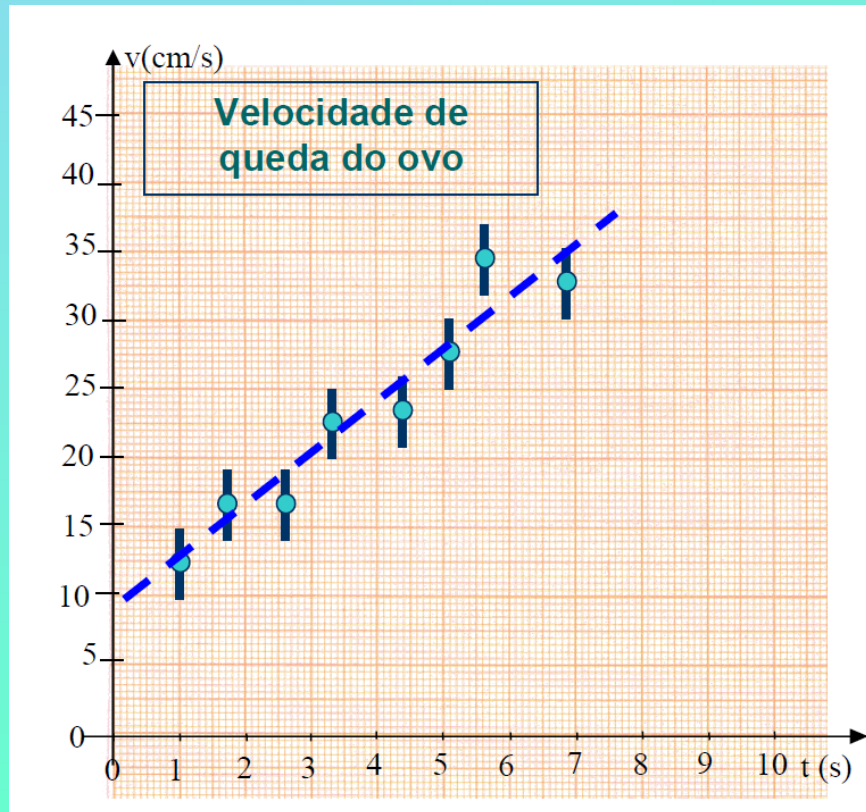
$$v(t) = v_0 + g \cdot t$$

**É possível fazer isso somente com os dados de uma tabela de valores  $v$  x  $t$ ? Existe uma maneira melhor de verificar isso?**



# Representação Gráfica

Representando graficamente a velocidade (eixo-y ou variável dependente) em função do tempo (eixo-x ou variável independente)



# Representação Gráfica

**Não se esqueça ao fazer o gráfico de:**

- Título e legenda do gráfico**
- Colocar legenda e unidade nos eixos**
- Dados experimentais e incertezas**
- Escolher uma escala adequada para os eixos**
- Funções teóricas ou curvas médias (algumas vezes é optativo)**

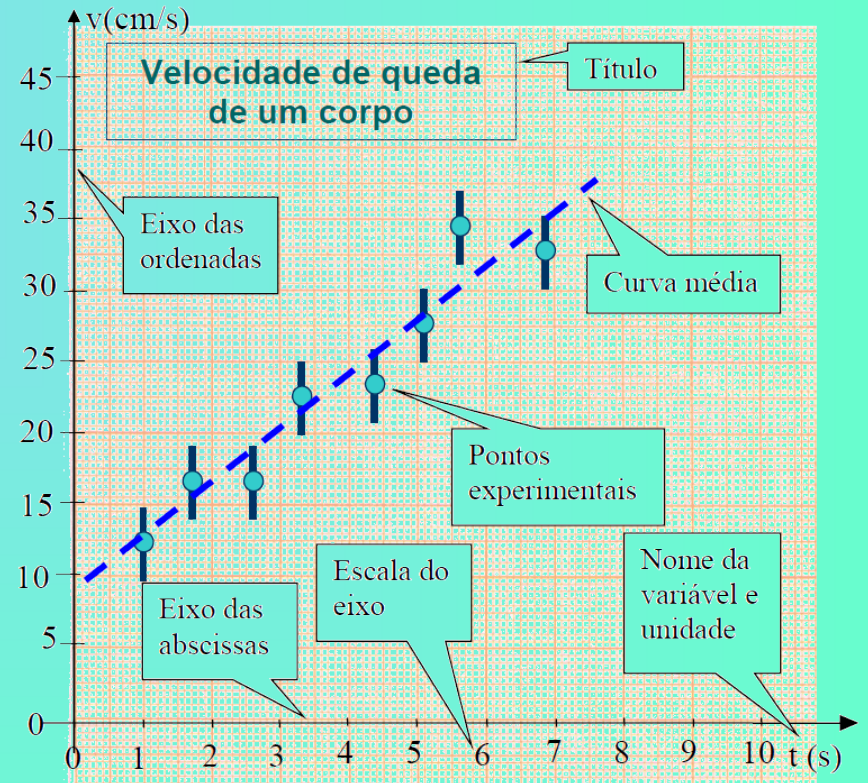
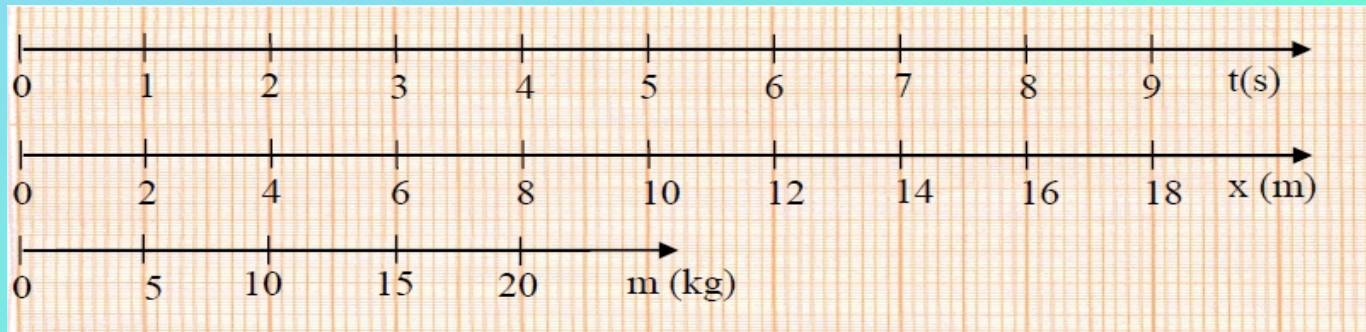


Figura 3.1. Componentes típicos de um gráfico científico padrão.

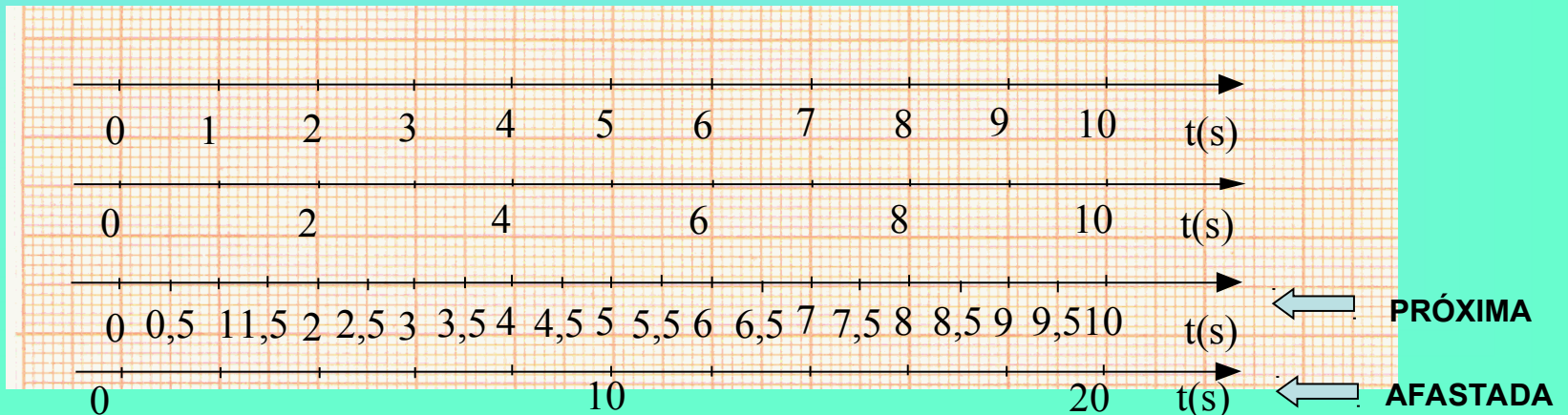
# Eixos em um gráfico

Deve-se escolher a escala que melhor se adapte ao tamanho do papel utilizado

**IMPORTANTE:** Não use escalas difíceis de se compreender. Sempre utilize escalas “múltiplas” de 1, 2 ou 5



Gradue os eixos de 1 em 1 cm (ou 2 em 2). **Evite** escalas muito espaçadas ou muito comprimidas

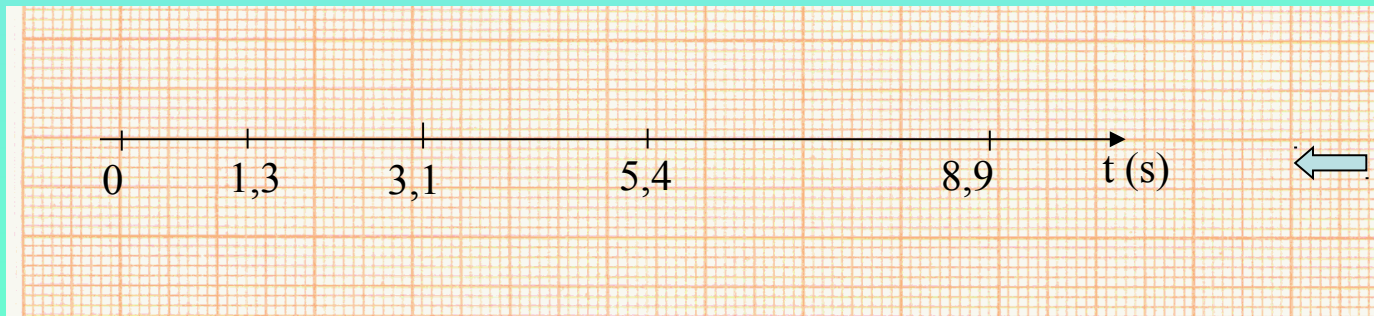


# Eixos em um gráfico

**Desenhe os eixos. Não utilize os eixos e escalas pré-desenhadas no papel**

**Coloque legendas em cada um dos eixos**

**NUNCA escreva os valores dos pontos nos eixos nem desenhe traços indicando os pontos**



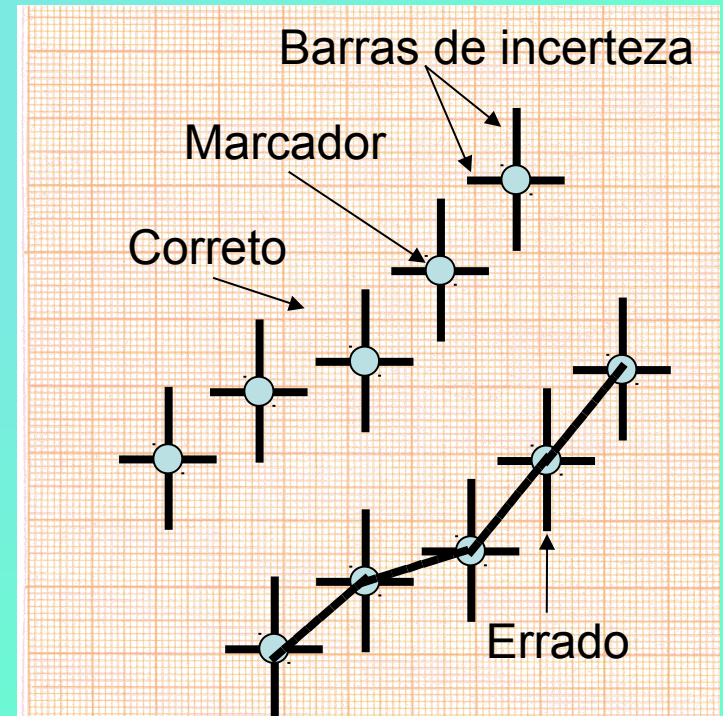
# Representação dos pontos no gráfico

Utilize marcadores visíveis

Represente as barras de incerteza em y e x (quando houver) de forma clara

**NUNCA LIGUE OS PONTOS**

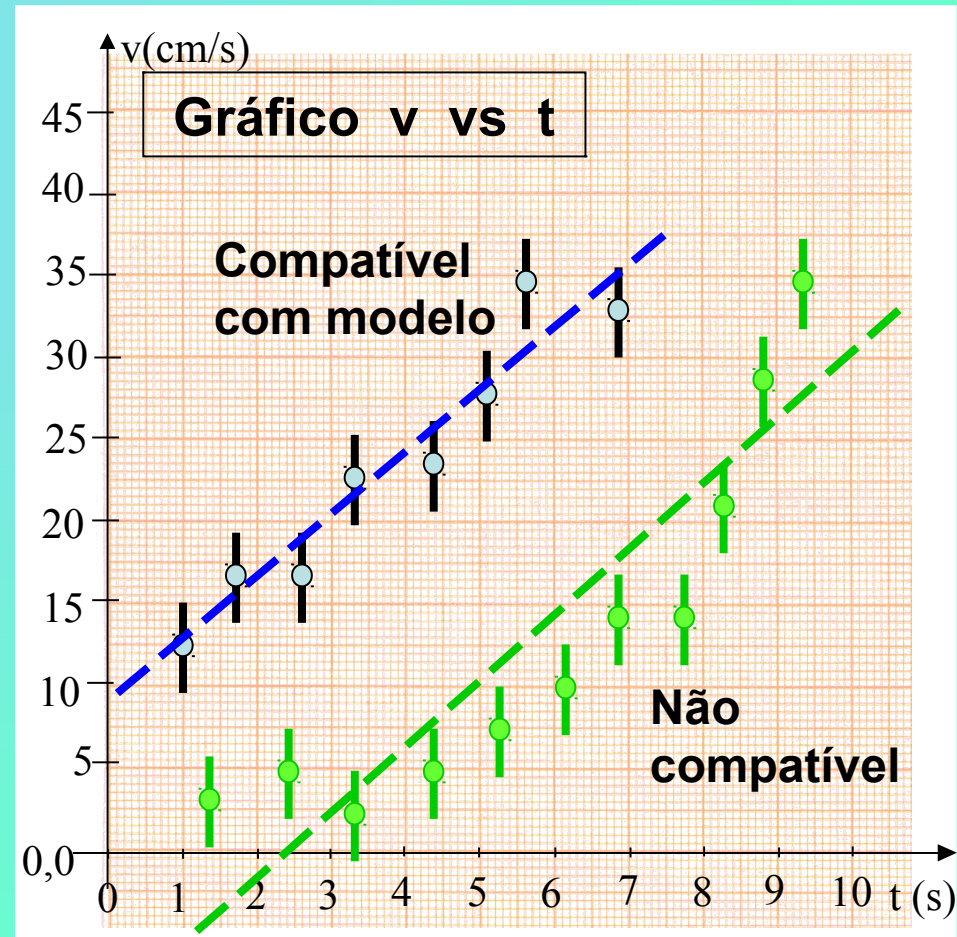
Conjunto de dados diferentes devem ser representados com símbolos (ou cores) diferentes.



# Ajuste de função

Uma vez com o gráfico, como podemos verificar se a velocidade ( $v(t)$ ) apresenta uma dependência linear com o tempo ( $t$ ), isto é,  $v(t) = v_0 + g \cdot t$ ?

Podemos tentar ajustar uma reta aos dados, isto é, nos perguntar se pode existir uma reta que descreva bem os nossos dados.



# Representação Gráfica

Utilizando o gráfico de  $v(t) \times t$ , podemos encontrar a reta que mais se aproxima dos pontos, ou seja, a reta que se ajusta aos nossos dados;

Uma vez encontrada a reta, podemos extrair os seus parâmetros:

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

onde,  $a$  é o coeficiente linear da reta e

$b$  é o coeficiente angular da reta

# Análise Gráfica

Como extrair esses parâmetros da reta ajustada?

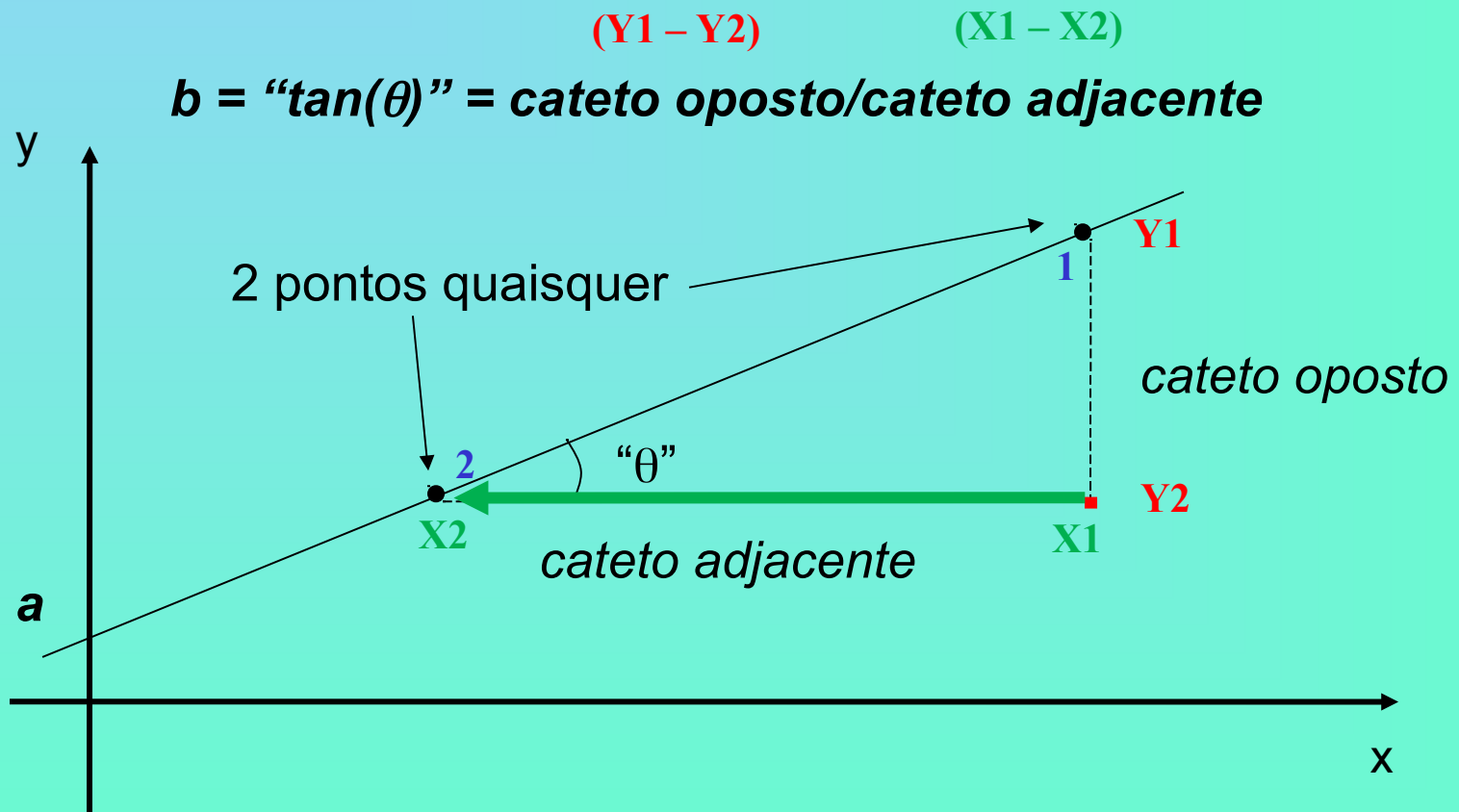
O coeficiente linear ( $a$ ) será o ponto em  $y$  que a reta cruza o eixo vertical ( $x=0$ );

O coeficiente angular ( $b$ ) é dado pela inclinação da reta (“ $\tan(\theta)$ ”):

$$b = \text{“}\tan(\theta)\text{”} = \textit{cateto oposto/cateto adjacente}$$



# Análise Gráfica



# Análise Gráfica

Qual é a interpretação que podemos dar aos parâmetros da reta?

Se os pontos se comportam de maneira linear, isso será uma indicação que o modelo da queda livre é bom para representar nossos dados;

Portanto, a interpretação dos parâmetros é:

$$\begin{array}{ccccccc} y & = & a & + & b & \cdot & x \\ & & \updownarrow & & \updownarrow & & \updownarrow & \updownarrow \\ v(t) & = & v_0 & + & g & \cdot & t \end{array}$$

# Avaliando $v_0$ e $g$

$v_0$  – coef linear  
7,5 cm/s

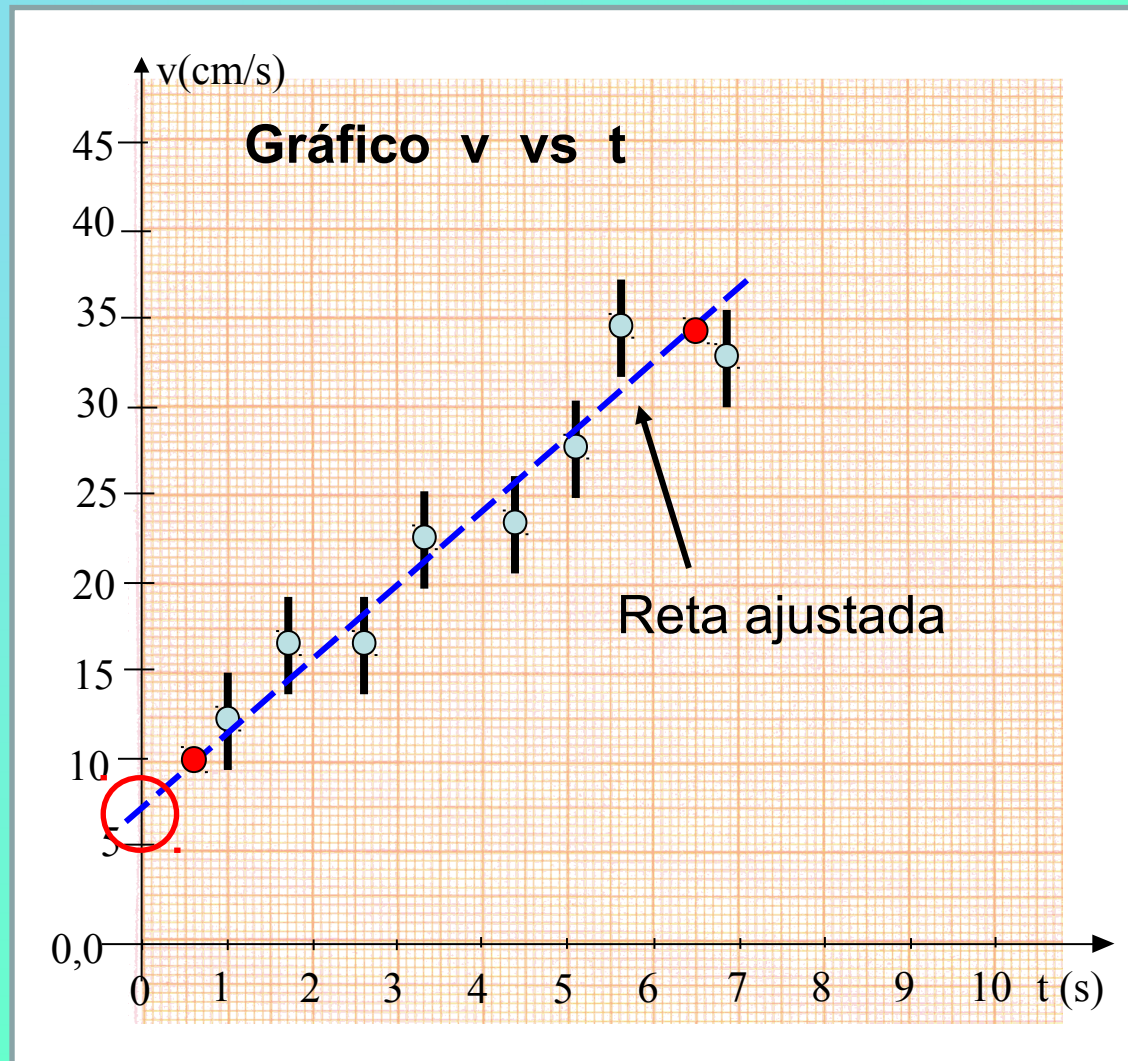
$g$  – coef angular  
escolha de 2 ptos

Ler coord

$$g = (v_1 - v_2) / (t_1 - t_2)$$

$$(34,2 - 10,0) / (6,5 - 0,6)$$

$$g = 4,1 \text{ cm/s}^2$$



# Análise Gráfica

Se o modelo de queda livre é adequado, e  $y = v(t)$ ,  $x = t$ , temos:

$$a = v_0 \text{ e } b = g$$

Será que os valores obtidos são razoáveis?

Como avaliar isso?

Precisamos das incertezas de  $a$  ( $v_0$ ) e  $b$  ( $g$ ).

# Análise Gráfica

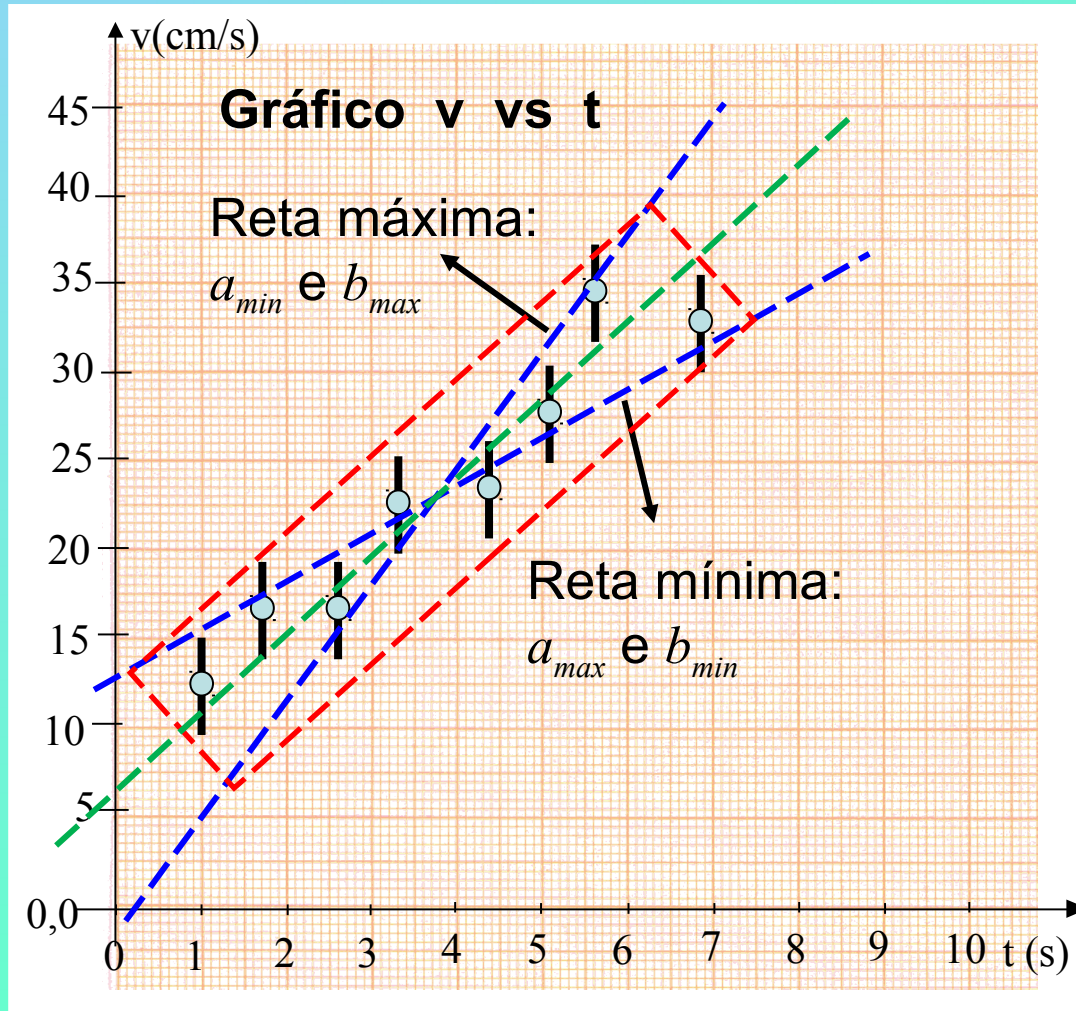
Qual é a incerteza de  $a$  ( $v_0$ ) e  $b$  ( $g$ )? Como podemos estimá-la?

Também o faremos graficamente:

tomando a reta de menor inclinação possível que ainda descrevem os pontos, o que determina os parâmetros máximo  $a_{max}$  e mínimo  $b_{min}$ ;

e a reta de maior inclinação possível que ainda descrevem os pontos, o que determina os parâmetros mínimo  $a_{min}$  e máximo  $b_{max}$ ;

# Análise Gráfica



# Análise Gráfica

As incertezas de  $a$  ( $v_0$ ) e  $b$  ( $g$ ) podem ser estimadas por ( $\sim 3\sigma$ ):

$$\Delta a = (a_{max} - a_{min})/2 \text{ e}$$

$$\Delta b = (b_{max} - b_{min})/2$$

Uma vez com as incertezas calculadas, podemos avaliar se o resultado está de acordo com o modelo da queda livre, isto é, se os valores dos parâmetros estão compatíveis com os valores esperados segundo o modelo.

# Análise Gráfica

O parâmetro  $a$  ( $v_0$ ) é coerente com um movimento que se iniciou no repouso? Quantas faíscas você desprezou para iniciar a escala de tempo ( $t=0$ )? Como avaliar se  $v_0$  está dentro do esperado?

E  $b$  é compatível com o valor da aceleração da gravidade? O IAG obteve o valor de  $978,622 \text{ cm/s}^2$  para a aceleração da gravidade fazendo uma medida bastante precisa.



# Experimento

**Medir o movimento de queda de um objeto usando:**

- um corpo em forma oval com um anel condutor a sua volta;
- um trilho com dois fios condutores;
- um eletroímã que segura o corpo no topo do trilho;
- um faiscador que gera faíscas entre o anel condutor do corpo em queda e os fios do trilho a cada  $1/60$  segundos (frequência da rede elétrica);
- uma fita que permite registrar as faíscas.

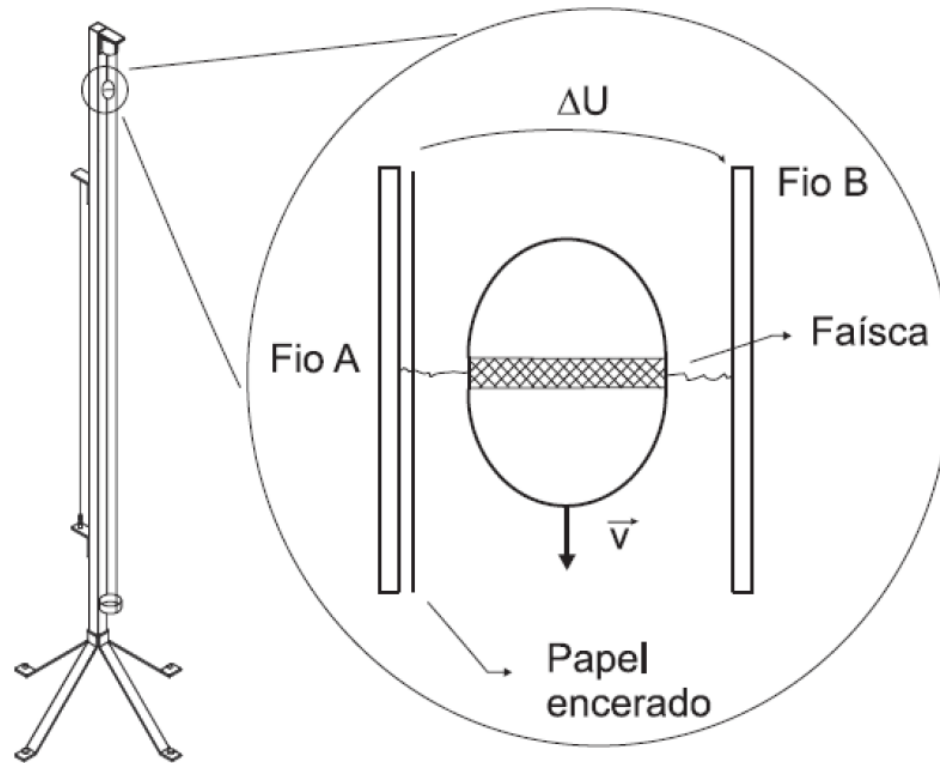


Figura 5.1: equipamento utilizado para o estudo da queda do corpo. As faíscas provocadas pelos pulsos de alta tensão entre os dois fios marcam um papel encerado.

# Cuidados durante as medidas

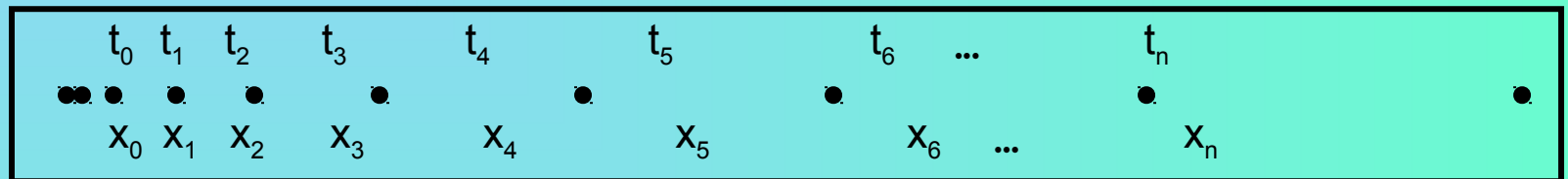
**Alinhar o trilho na vertical (usar o fio de prumo);**

**colar bem a fita na lateral do trilho, com seu lado mais brilhante para fora;**

**verificar imediatamente após a medida, se os pontos foram marcados;**

**MUITO CUIDADO com choques elétricos.**

# Resultado do Experimento



**Que dados obtivemos?**

**Posição em função do tempo.**

**Como determinar o tempo (ou instante) de cada posição?**

**Escolher  $t=0$  e usar a frequência da rede (1/60 s).**

# Análise de dados

$t_0$	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_5$	$t_6$	...	$t_n$
•••	•	•	•	•	•	•	•	•
$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	...	$x_n$
$v_0$	$v_1$	$v_2$	$v_3$	$v_4$	$v_5$	$v_6$	...	$v_n$

**Para compararmos nossos dados com o modelo que tenta descrever o movimento do corpo, o que precisamos obter?**

**Precisamos saber a velocidade instantânea em função do tempo, pois queremos saber se  $v(t) = v_0 + g \cdot t$ , que é o comportamento que esperamos para um objeto em queda livre.**

# Como podemos calcular a velocidade do objeto em cada instante ( $t_n$ )?

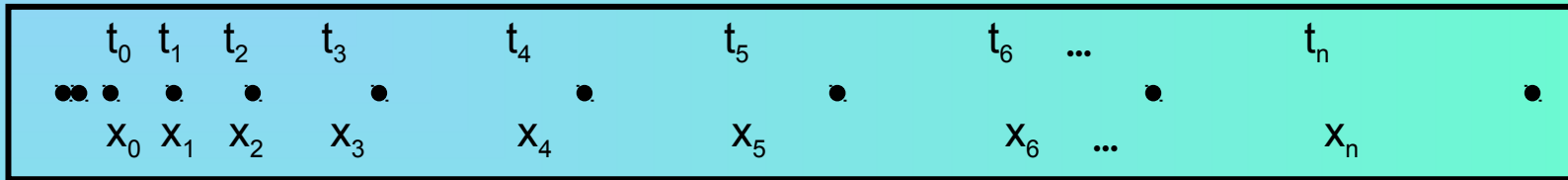
A velocidade média entre dois pontos é dada por:

$$v_{\text{média}} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i}$$

onde  $\Delta x$  é a distância entre esses dois pontos e  $\Delta t$  é o intervalo de tempo que o objeto levou para ir do primeiro para o segundo ponto.

A velocidade instantânea para um corpo que se move a aceleração constante é dada por

$$\text{onde, } v_i(t') = v_{\text{media}} \quad t' = (t_i + t_f) / 2 = t_{\text{medio}}$$



Vamos trabalhar com o tempo em unidades de  $1/60$  s.

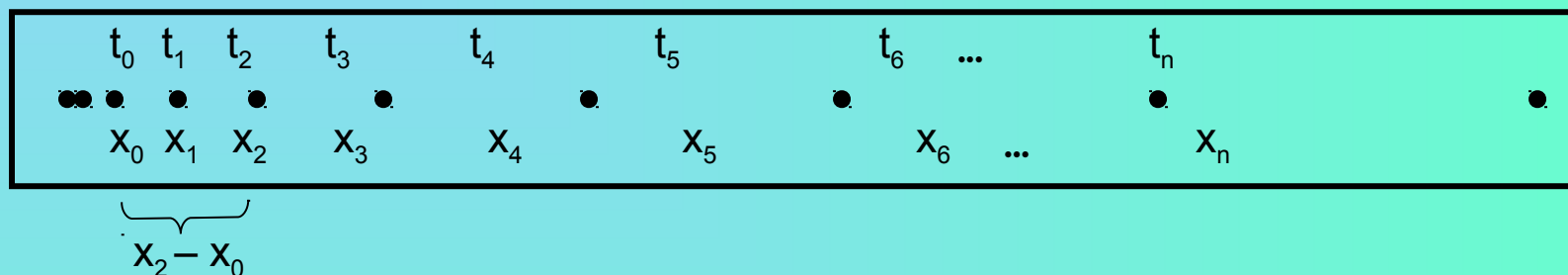
Chamamos essa unidade de ut:  $1_{ut} = \frac{1}{60} s$

Só no final fazemos a conversão para segundo.

Isso EVITA CÁLCULOS

DESNECESSÁRIOS e EVITA ERROS

# Análise de dados



**Portanto, precisamos obter da fita marcada (posição em função do tempo):**

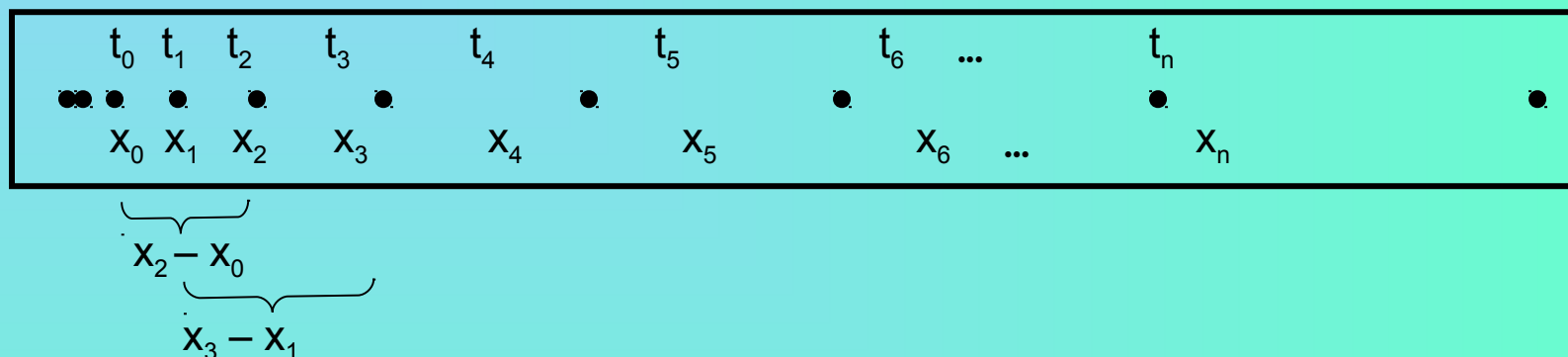
$$\Delta x = x_{n+1} - x_{n-1}$$

$$t_{\text{médio}} = (t_{n+1} + t_{n-1})/2$$

que leva a  $v_{\text{médio}} = \Delta x / \Delta t$  no instante  $t_{\text{médio}}$



# Análise de dados



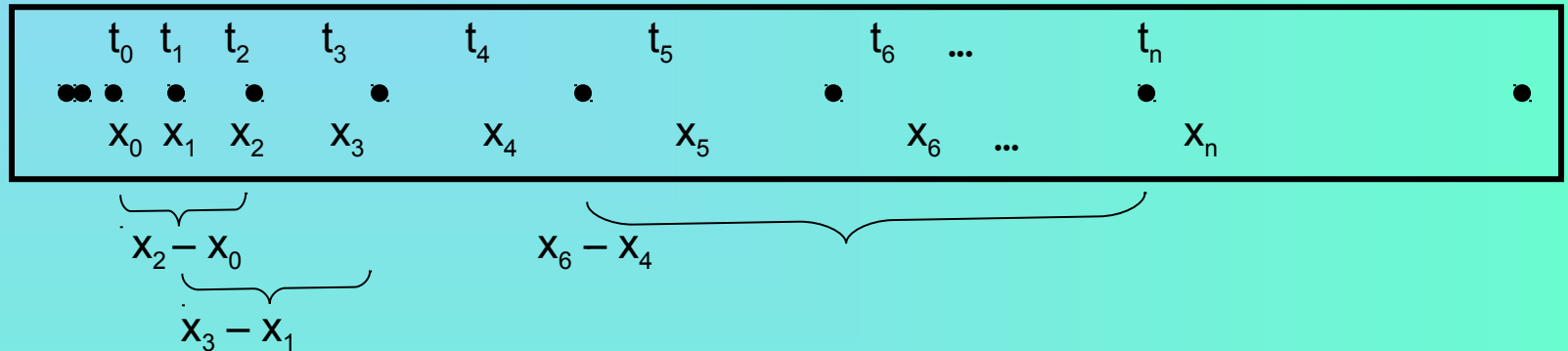
**Portanto, precisamos obter da fita marcada (posição em função do tempo):**

$$\Delta x = x_{n+1} - x_{n-1}$$

$$t_{\text{médio}} = (t_{n+1} + t_{n-1})/2$$

que leva a  $v_{\text{médio}} = \Delta x / \Delta t$  no instante  $t_{\text{médio}}$

# Análise de dados



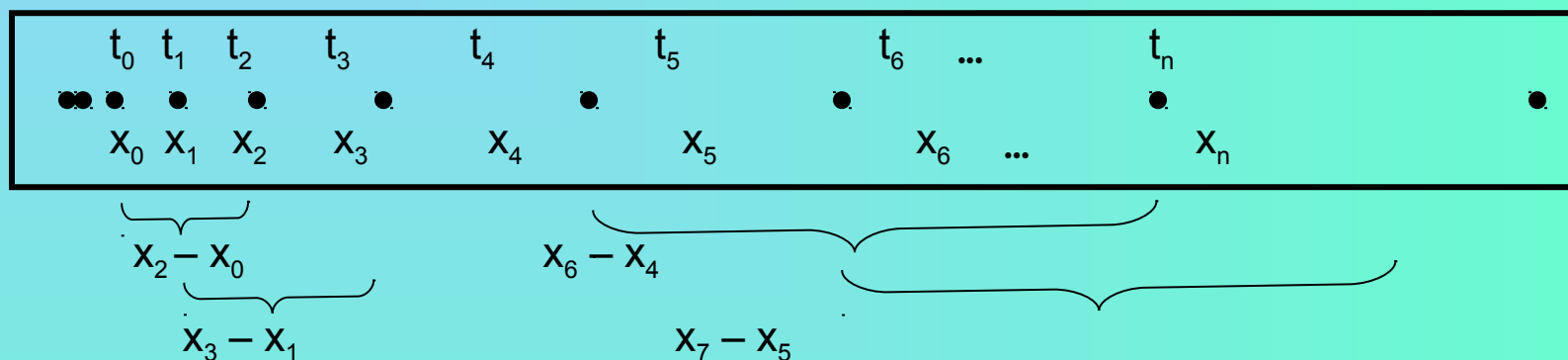
**Portanto, precisamos obter da fita marcada (posição em função do tempo):**

$$\Delta x = x_{n+1} - x_{n-1}$$

$$t_{\text{médio}} = (t_{n+1} + t_{n-1})/2$$

que leva a  $v_{\text{médio}} = \Delta x / \Delta t$  no instante  $t_{\text{médio}}$

# Análise de dados



**Portanto, precisamos obter da fita marcada (posição em função do tempo):**

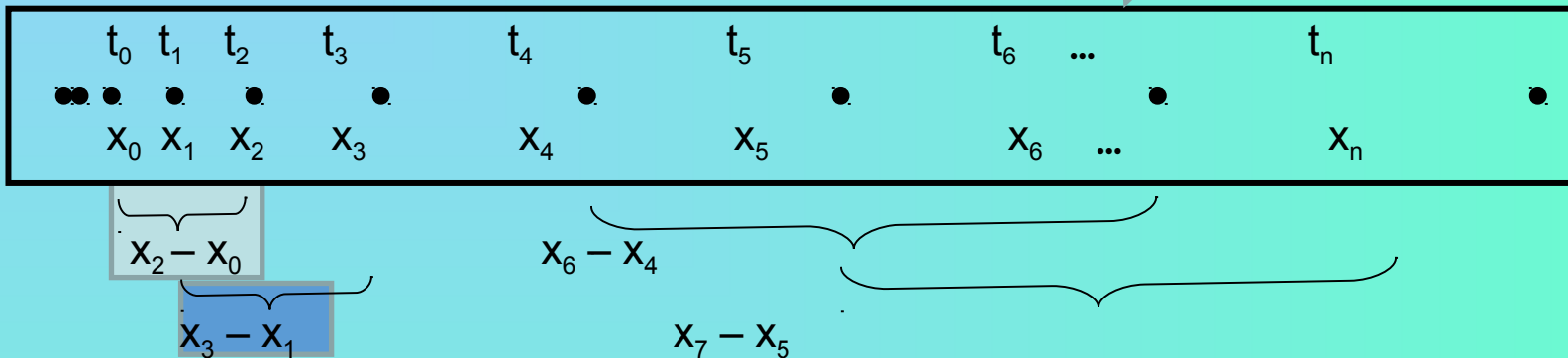
$$\Delta x = x_{n+1} - x_{n-1}$$

$$t_{\text{médio}} = (t_{n+1} + t_{n-1})/2$$

que leva a  $v_{\text{médio}} = \Delta x / \Delta t$  no instante  $t_{\text{médio}}$

# Análise de dados

para cada ponto  
usado uma  
só vez  
EVITAR  
CORRELA  
ÇÃO



## Construir a tabela:

Tabela 1: Medidas das posições do corpo em função do tempo e medidas das distâncias percorridas em intervalos  $\Delta T$ .

Medidas		Aluno 1		Aluno 2		Aluno 3	
Tempo (1/60 s)	Posição (cm)	pontos usados	$\Delta T=(1/60 \text{ s})$ Distância (cm)	pontos usados	$\Delta T=(2/60 \text{ s})$ Distância (cm)	pontos usados	$\Delta T=(1/60 \text{ s})$ Distância (cm)
0		0 - 1					
1				0 - 2		1 - 2	
2		2 - 3		1 - 3			
3						3 - 4	
4		4 - 5					
5				4 - 6		5 - 6	

# Análise de dados

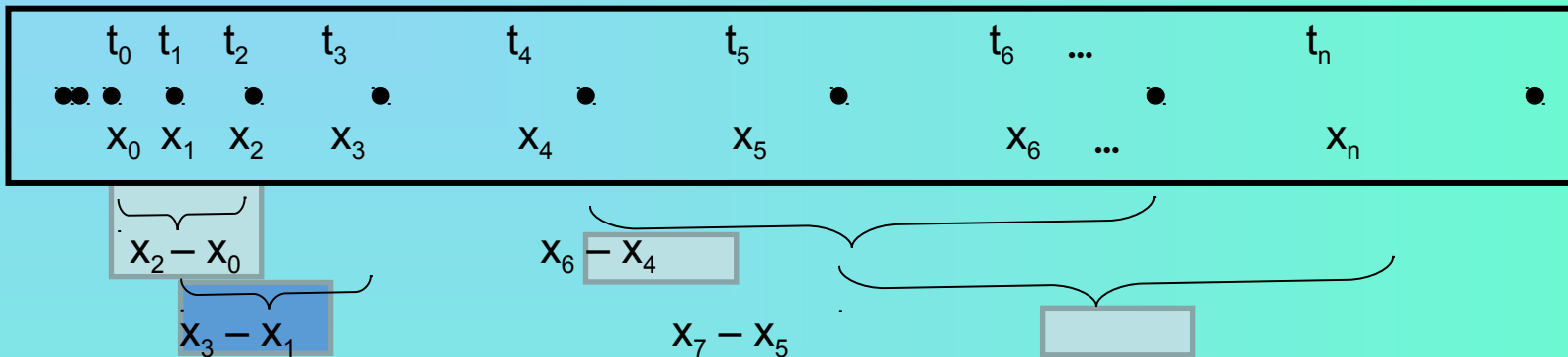
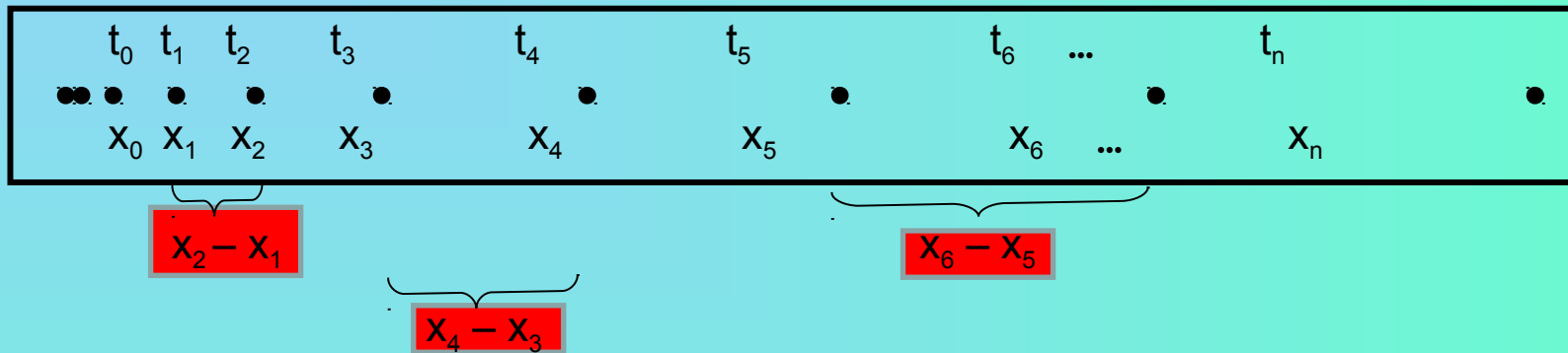


Tabela 2. Velocidade do elipsoide em função do tempo, para cada aluno

Aluno 1		Aluno 2		Aluno 3	
Tempo t (ut)	Velocidade (cm/ut)	Tempo t (ut)	Velocidade (cm/ut)	Tempo t (ut)	Velocidade (cm/ut)

# Análise de dados

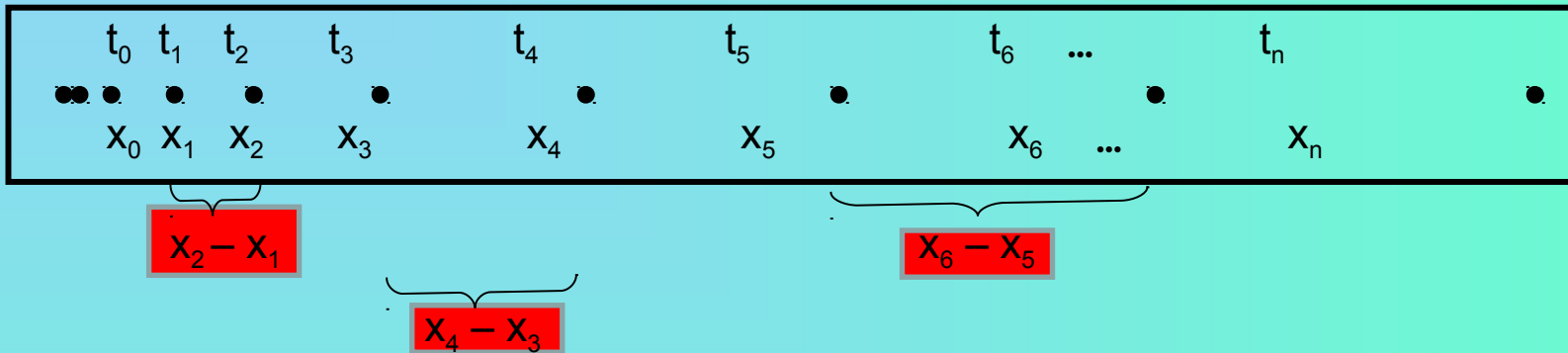


## Construir a tabela:

Tabela 1: Medidas das posições do corpo em função do tempo e medidas das distâncias percorridas em intervalos  $\Delta T$ .

Medidas		Aluno 1		Aluno 2		Aluno 3	
Tempo (1/60 s)	Posição (cm)	pontos usados	$\Delta T=(1/60 \text{ s})$ Distância (cm)	pontos usados	$\Delta T=(2/60 \text{ s})$ Distância (cm)	pontos usados	$\Delta T=(1/60 \text{ s})$ Distância (cm)
0		0 - 1					
1				0 - 2		1 - 2	
2		2 - 3		1 - 3			
3						3 - 4	
4		4 - 5					
5				4 - 6		5 - 6	

# Análise de dados

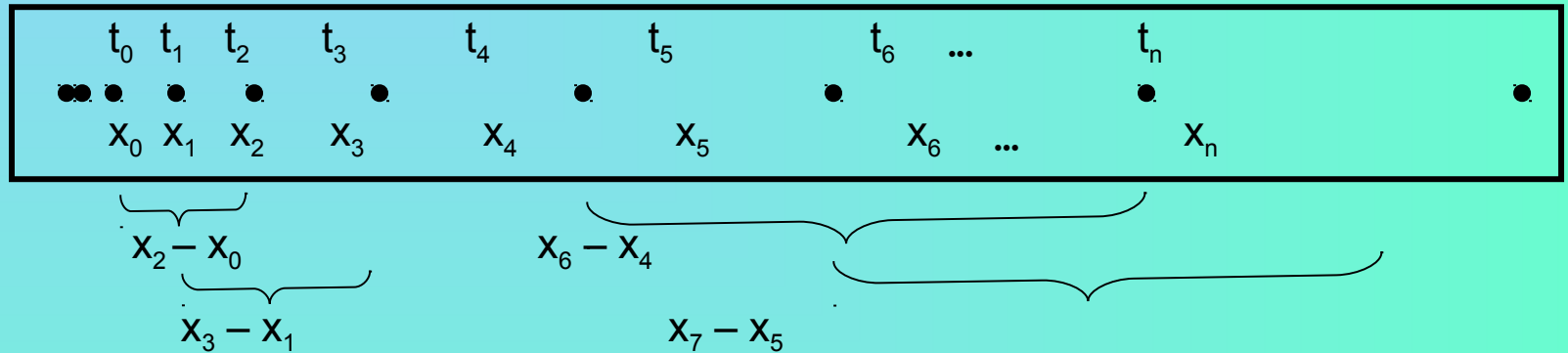


**Construir a tabela:**

Tabela 2. Velocidade do elipsoide em função do tempo, para cada aluno

Aluno 1		Aluno 2		Aluno 3	
Tempo t (ut)	Velocidade (cm/ut)	Tempo t (ut)	Velocidade (cm/ut)	Tempo t (ut)	Velocidade (cm/ut)

# Análise de dados



Qual é a incerteza em  $\Delta x$ ?

Devemos considerar uma incerteza no instante  $t$  ?

Qual é a incerteza na velocidade?



# Atividades da aula de hoje

**Realizar as medidas**

**Extrair os dados de deslocamento da fita**

**Construir a tabela de velocidade em função do tempo. Não esquecer as incertezas das velocidades**

**Fazer o gráfico de velocidade em função do tempo**