UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

LABORATÓRIO DE FÍSICA 1

CARLOS AUGUSTO SANTOS DE CARVALHO

GUILHERME MENEZES DE AZEVEDO

NÍCKOLAS FELIPE PAULINO SANTOS

ERLANDSON DA SILVA PESSOA JÚNIOR

BERNARDO SILVA LUZ

RELATÓRIO

Segunda Lei de Newton

Aracaju, Sergipe

04/04/2023

1. Introdução

A Segunda Lei de Newton (Princípio Fundamental da Dinâmica) estabelece que a aceleração adquirida por um corpo é diretamente proporcional à força resultante exercida sobre ele e massa sendo inversamente proporcional àquela.

“A mudança de movimento é proporcional à força motora imprimida, e é produzida na direção de linha reta na qual aquela força é aplicada.”

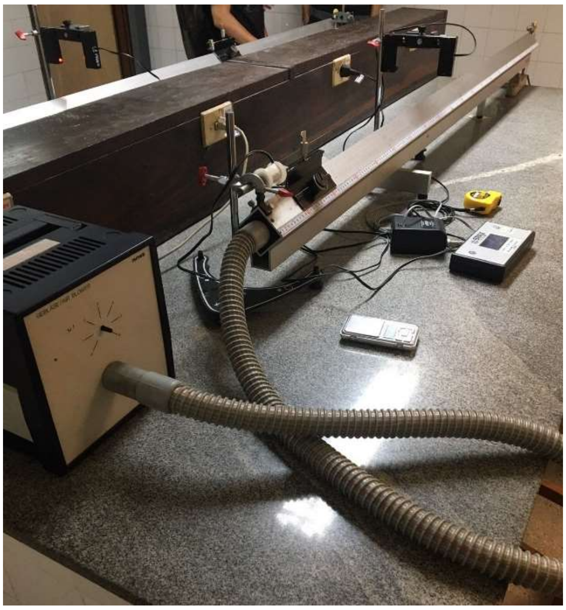
Essa fórmula estabelece a resultante das forças e é chamada de **equação fundamental da dinâmica.** Assim, a massa do corpo é a constante de proporcionalidade da equação e a medida da inércia do corpo. Cabe ressaltar que a força é um referencial inercial, sendo importante levar em consideração a direção e o sentido no qual a força é aplicada, isso explica o porquê de quando uma força de mesma intensidade é aplicada em corpos de massas diferentes, a aceleração produzida por eles é diferente.[1]

2. Objetivo

Estudar o movimento de um corpo sob a ação de uma força conhecida exercida sobre ele, sem o atrito, e verificar a dependência da intensidade da aceleração com a massa do corpo. E também, elaborar gráficos no Sci-Davies para determinar as acelerações estudadas.

3. Materiais

Trilho de ar; Turbina para o fluxo do ar; Carrinho; Sensor ótico; Porta-pesos; Roldana e linha; Cronômetro digital; Pesos aferidos; Fios, hastes e suportes; Dispositivo de lançamento do carrinho com eletroímã.



4. Procedimento

- Métodos:

  Medimos com uma régua com incerteza instrumental de (0,05 cm) a posição inicial do carrinho (Xo = 22,2 cm ± 0,05 cm) e logo em seguida empurramos o carrinho até o sensor do cronômetro disparar e registramos a distância percorrida e com isso, captamos 3 tempos para cada 5 distâncias do sensor até a posição inicial do carrinho aferidas e para cada 5 massas distintas no veículo com incerteza instrumental da balança de (0,1 g). Tudo foi registrado em uma tabela que será fornecido nesse relatório. E construímos com esses dados coletados gráficos no Sci-Davies sendo Δx por tempo e (m+M) por 1/a.

- Representação das medidas:
  (média da grandeza ± incerteza) unidade da medida

- Valor médio da grandeza:

$$\bar{x} = \frac{1}{\eta} \cdot \sum_{i=1}^{n} x_i$$

- Desvio Padrão da grandeza:

$$D_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

- Incerteza do Valor Médio:

$$\sigma_a = \frac{D_p}{\sqrt{n}}$$

- Incerteza Instrumental:

$\sigma_b =$ Menor medição do instrumento

- Incerteza Absoluta:

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_b^2}$$

- Incerteza Relativa:

$$IR\% = \frac{\sigma_C}{\bar{x}} \times 100$$

- Erro:

Erro = valor médio - valor real

- Propagação de Incertezas:

$$\sigma_f = \sqrt{\left(\frac{df}{da}\cdot\sigma_a\right)^2 + \left(\frac{df}{db}\cdot\sigma_b\right)^2 + \cdots + \left(\frac{df}{dz}\cdot\sigma_z\right)^2}$$

Onde, o símbolo 𝕕f/𝕕a representa a derivada parcial de f em relação $\boldsymbol{a}$, ou seja, a derivada da função f quando apenas $\boldsymbol{a}$ é tomada como variável, e b, c, ..., z são consideradas constantes. E σa, σb, ..., σz são os desvios padrões da variável correspondente. [2]

- Fórmulas para a Experiência da "Segunda Lei de Newton":

$a = \frac{m\cdot g}{m+M}$; m = Massa pendurada no porta pesos e M = massa do carrinho;

$$x - x_0 = \frac{a}{2}\cdot t^2$$

$(m + M) = \frac{1}{a}\cdot m \cdot g$, y = m + M e x = 1/a

5. Dados Coletados

Massa do porta peso (m) kg Mantida fixa: **(0,0351 ± 0,0001) kg**

Xo = 0,222 m		ΔX (m)	σ_b em ΔX (m)	Tempo (s)			t (s)	σ_a (s)	σ_b (s)	σ_c (s)	Resultado de t (s)
				Medida 1	Medida 2	Medida 3					
Massa no Carrinho M_1 (kg) = **(0,2045 ± 0,0001) kg**	ΔX1	**0,7030**	**0,0005**	**1,0477**	**1,0311**	**1,0373**	**1,0387**	**0,004843**	**0,0001**	**0,004844**	**(1,0387 ± 0,0049)**
	ΔX2	**0,5659**	**0,0005**	**0,9197**	**0,9166**	**0,9208**	**0,919033**	**0,001257**	**0,0001**	**0,001261**	**(0,9190 ± 0,0013)**
	ΔX3	**0,8534**	**0,0005**	**1,1664**	**1,1501**	**1,1581**	**1,1582**	**0,004706**	**0,0001**	**0,004707**	**(1,1582 ± 0,0047)**
	ΔX4	**0,4203**	**0,0005**	**0,7918**	**0,7981**	**0,7990**	**0,7963**	**0,002265**	**0,0001**	**0,002267**	**(0,7963 ± 0,0023)**
	ΔX5	**0,6608**	**0,0005**	**1,0111**	**1,0201**	**1,0216**	**1,0176**	**0,003279**	**0,0001**	**0,003280**	**(1,0176 ± 0,0033)**

Xo = 0,222 m		ΔX (m)	σ_b em ΔX (m)	Tempo (s)			t (s)	σ_a (s)	σ_b (s)	σ_c (s)	Resultado de t (s)
				Medida 1	Medida 2	Medida 3					
Massa no Carrinho M_2 (kg) = **(0,2429 ± 0,0001) kg**	ΔX1	**0,6932**	**0,0005**	**1,1117**	**1,1264**	**1,1099**	**1,1160**	**0,005226**	**0,0001**	**0,005227**	**(1,1160 ± 0,0052)**
	ΔX2	**0,2564**	**0,0005**	**0,6618**	**0,6624**	**0,6627**	**0,6623**	**0,000265**	**0,0001**	**0,000283**	**(0,6623 ± 0,0003)**
	ΔX3	**0,6248**	**0,0005**	**1,0536**	**1,0397**	**1,0526**	**1,048633**	**0,004476**	**0,0001**	**0,004477**	**(1,0486 ± 0,0045)**
	ΔX4	**0,7992**	**0,0005**	**1,2078**	**1,1962**	**1,1998**	**1,201267**	**0,003428**	**0,0001**	**0,003429**	**(1,2013 ± 0,0034)**
	ΔX5	**0,7431**	**0,0005**	**1,1465**	**1,1509**	**1,1533**	**1,150233**	**0,001991**	**0,0001**	**0,001994**	**(1,1502 ± 0,0020)**

Xo = 0,222 m		ΔX (m)	σ_b em ΔX (m)	Tempo (s)			t (s)	σ_a (s)	σ_b (s)	σ_c (s)	Resultado de t (s)
				Medida 1	Medida 2	Medida 3					
Massa no Carrinho M_3 (kg) = **(0,2629 ± 0,0001) kg**	ΔX1	**0,7208**	**0,0005**	**1,1731**	**1,1826**	**1,1786**	**1,1781**	**0,002754**	**0,0001**	**0,002756**	**(1,1781 ± 0,0028)**
	ΔX2	**0,6509**	**0,0005**	**1,1103**	**1,1068**	**1,1112**	**1,109433**	**0,001342**	**0,0001**	**0,001346**	**(1,1094 ± 0,0013)**
	ΔX3	**0,6259**	**0,0005**	**1,0864**	**1,0873**	**1,0935**	**1,089067**	**0,002232**	**0,0001**	**0,002234**	**(1,0891 ± 0,0022)**
	ΔX4	**0,5948**	**0,0005**	**1,0665**	**1,0526**	**1,0612**	**1,0601**	**0,004050**	**0,0001**	**0,004051**	**(1,0601 ± 0,0041)**
	ΔX5	**0,7668**	**0,0005**	**1,2100**	**1,2021**	**1,1991**	**1,203733**	**0,003251**	**0,0001**	**0,003252**	**(1,2037 ± 0,0033)**

Xo = 0,222 m		ΔX (m)	σ_b em ΔX (m)	Tempo (s)			t (s)	σ_a (s)	σ_b (s)	σ_c (s)	Resultado de t (s)
				Medida 1	Medida 2	Medida 3					
Massa no Carrinho M_4 (kg) = **(0,3036 ± 0,0001) kg**	ΔX1	**0,7609**	**0,0005**	**1,2760**	**1,2946**	**1,2759**	**1,282167**	**0,006217**	**0,0001**	**0,006218**	**(1,2822 ± 0,0062)**
	ΔX2	**0,6072**	**0,0005**	**1,1274**	**1,1412**	**1,1344**	**1,134333**	**0,003984**	**0,0001**	**0,003985**	**(1,1343 ± 0,0040)**
	ΔX3	**0,7372**	**0,0005**	**1,2610**	**1,2455**	**1,2611**	**1,255867**	**0,005183**	**0,0001**	**0,005184**	**(1,2559 ± 0,0052)**
	ΔX4	**0,2429**	**0,0005**	**0,7157**	**0,7164**	**0,7164**	**0,716167**	**0,000233**	**0,0001**	**0,000254**	**(0,7162 ± 0,0003)**
	ΔX5	**0,4379**	**0,0005**	**0,9606**	**0,9720**	**0,9638**	**0,965467**	**0,003395**	**0,0001**	**0,003396**	**(0,9655 ± 0,0034)**

Xo = 0,222 m		ΔX (m)	σ_b em ΔX (m)	Tempo (s)			t (s)	σ_a (s)	σ_b (s)	σ_c (s)	Resultado de t (s)
				Medida 1	Medida 2	Medida 3					
Massa no Carrinho M_5 (kg) = **(0,362 ± 0,0001) kg**	ΔX1	**0,4679**	**0,0005**	**1,0734**	**1,0813**	**1,0850**	**1,0799**	**0,003421**	**0,0001**	**0,003422**	**(1,0799 ± 0,0034)**
	ΔX2	**0,6415**	**0,0005**	**1,2653**	**1,2614**	**1,2653**	**1,2640**	**0,0013**	**0,0001**	**0,001304**	**(1,2640 ± 0,0013)**
	ΔX3	**0,6951**	**0,0005**	**1,3160**	**1,3390**	**1,3368**	**1,3448**	**0,01853**	**0,0001**	**0,018531**	**(1,3450 ± 0,0190)**
	ΔX4	**0,7621**	**0,0005**	**1,4057**	**1,3803**	**1,3794**	**1,388467**	**0,008621**	**0,0001**	**0,008621**	**(1,3884 ± 0,0090)**
	ΔX5	**0,6271**	**0,0005**	**1,2648**	**1,2741**	**1,2704**	**1,269767**	**0,002703**	**0,0001**	**0,002705**	**(1,2700 ± 0,0027)**

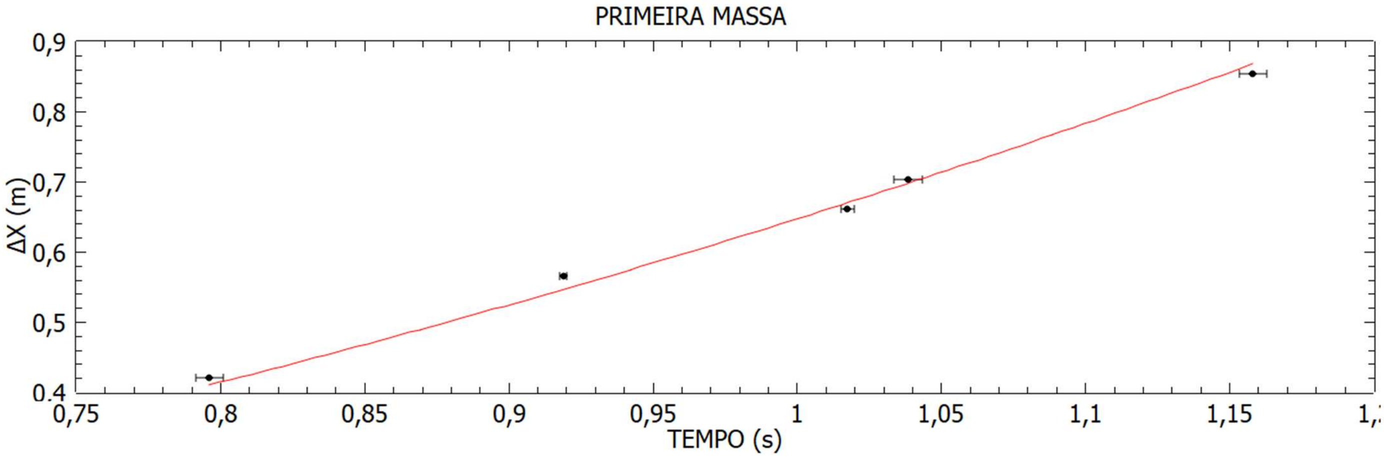
6. Cálculo dos Valores Médios e Incertezas

Calculamos os valores médios dos 3 tempos nas 5 massas diferentes dos carrinhos e em 5 distâncias diferentes, logo depois calculamos o desvio padrão para cada valor médio e encontramos enfim a Incerteza Estatística (σ_a) e com a Incerteza Instrumental (σ_b) encontramos a Incerteza do valor Médio (σ_c) e suas respectivas Incertezas Relativas. Os cálculos não serão mostrados, pois provamos em outros relatórios que sabemos realizar os mesmos.

7. Cálculo da Aceleração: Gráficos no Sci-Davies

Nesse tópico iremos demonstrar o cálculo da aceleração de cada carrinho e em diferentes distâncias e diferentes massas utilizando o Sci-Davies.

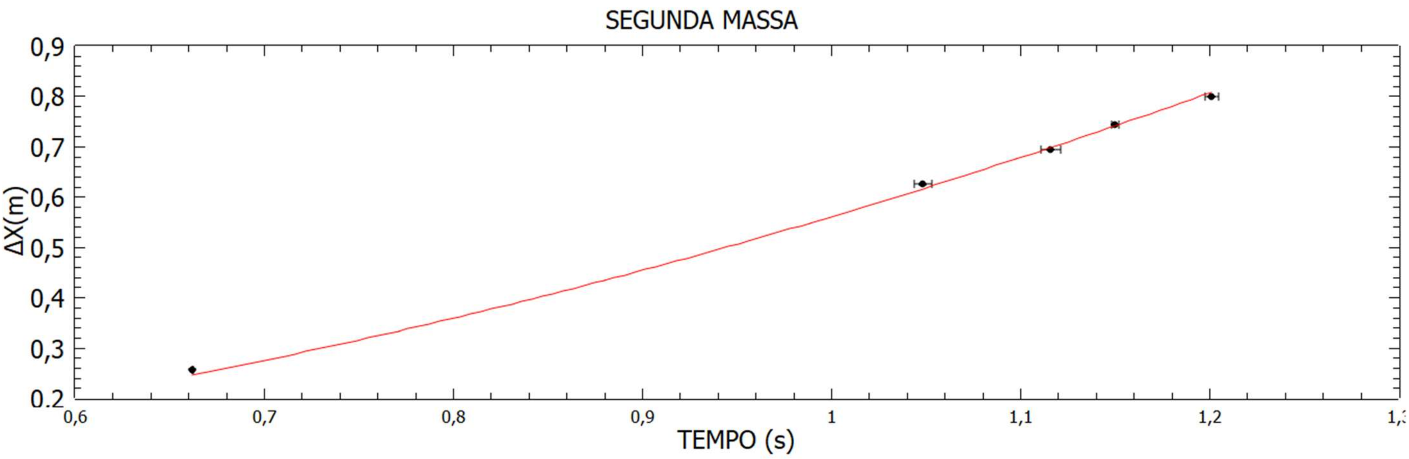
- Aceleração do Carrinho 1 com massa M1 = **(0,2045 ± 0,0001) kg**;



```
--------------------------------------------------------------------------------
[sexta-feira, 31 de março de 2023 13:29:13 Hora oficial do Brasil   Plot: "Graph1"]
Non-linear fit of dataset: Table1_Delta X , using function: a*x*x
Y standard errors: Unknown
Scaled Levenberg-Marquardt algorithm with tolerance = 0,0001
From x = 0,7963 to x = 1,1582
a  = 0,646844315382156 +/- 0,00622647053991896
--------------------------------------------------------------------------------
Chi^2 = 0,000798808436751875
R^2 = 0,999629504112284
--------------------------------------------------------------------------------
Iterations = 1
Status = success
--------------------------------------------------------------------------------
```

Logo, a aceleração do Carrinho 1 pelo Ajuste Não Linear realizado será 2 * a e sua incerteza por propagação de Incertezas será 2 * σ_C, sendo os respectivos valores gerados pelo gráfico no Sci-Davies. Aceleração = (2 * 0,647 ± 2 * 0,006) => **Aceleração 1 = (1,294 ± 0,012) m/s²**.

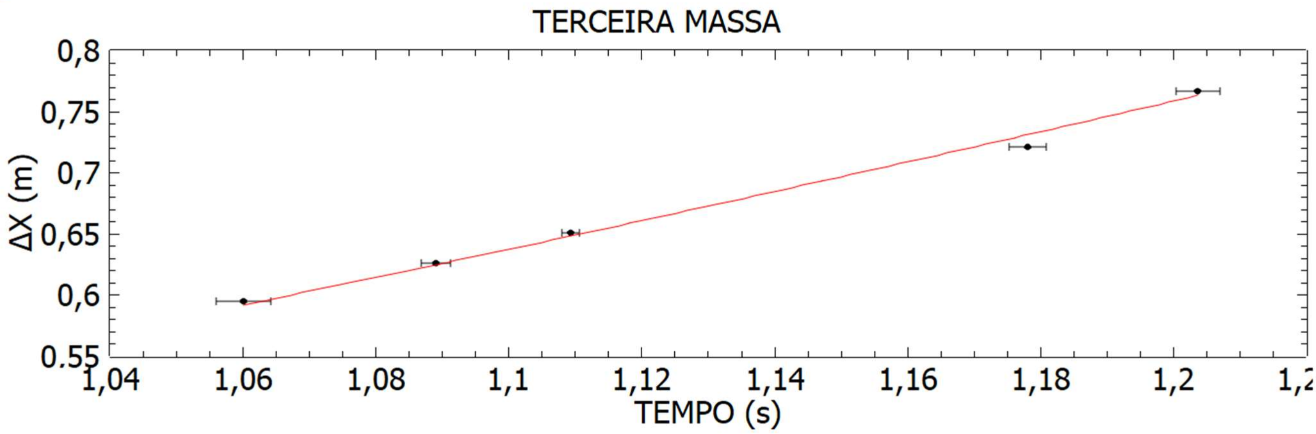
- Aceleração do Carrinho 2 com massa M2 = **(0,2429 ± 0,0001) kg**



```
--------------------------------------------------------------------------------
[sexta-feira, 31 de março de 2023 13:55:52 Hora oficial do Brasil   Plot: "Graph1"]
Non-linear fit of dataset: Table1_Delta X, using function: a*x*x
Y standard errors: Unknown
Scaled Levenberg-Marquardt algorithm with tolerance = 0,0001
From x = 0,6623 to x = 1,2013
a  = 0,559914446627137 +/- 0,00332888407186078
--------------------------------------------------------------------------------
Chi^2 = 0,000300769987137632
R^2 = 0,999858631522558
--------------------------------------------------------------------------------
Iterations = 1
Status = success
--------------------------------------------------------------------------------
```

Logo, a aceleração do Carrinho 2 pelo Ajuste Não Linear realizado será 2 * a e sua incerteza por propagação de Incertezas será 2 * σ_C, sendo os respectivos valores gerados pelo gráfico no Sci-Davies. Aceleração = (2 * 0,560 ± 2 * 0,003) => **Aceleração 2 = (1,120 ± 0,003) m/s²**.

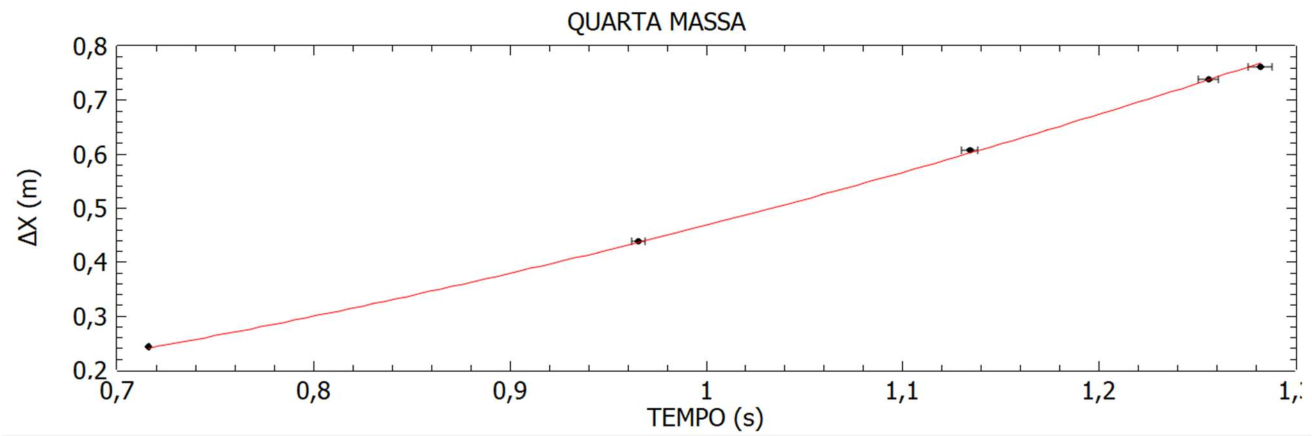
- Aceleração do Carrinho 3 com massa M3 = **(0,2629 ± 0,0001) kg**



```
[sexta-feira, 31 de março de 2023 15:09:48 Hora oficial do Brasil   Plot: "Graph1"]
Non-linear fit of dataset: Table1_ΔX(m) , using function: a*x*x
Y standard errors: Unknown
Scaled Levenberg-Marquardt algorithm with tolerance = 0,0001
From x = 1,0601 to x = 1,2037
a  = 0,526580972040452 +/- 0,00202344440112431
---------------------------------------------------------------------------------
Chi^2 = 0,000134462342369801
R^2 = 0,999940940936031
---------------------------------------------------------------------------------
Iterations = 1
Status = success
---------------------------------------------------------------------------------
```

Logo, a aceleração do Carrinho 3 pelo Ajuste Não Linear realizado será 2 * a e sua incerteza por propagação de Incertezas será 2 * σ_C, sendo os respectivos valores gerados pelo gráfico no Sci-Davies. Aceleração = (2 * 0,527 ± 2 * 0,002) => **Aceleração 3 = (1,054 ± 0,004) m/s²**.

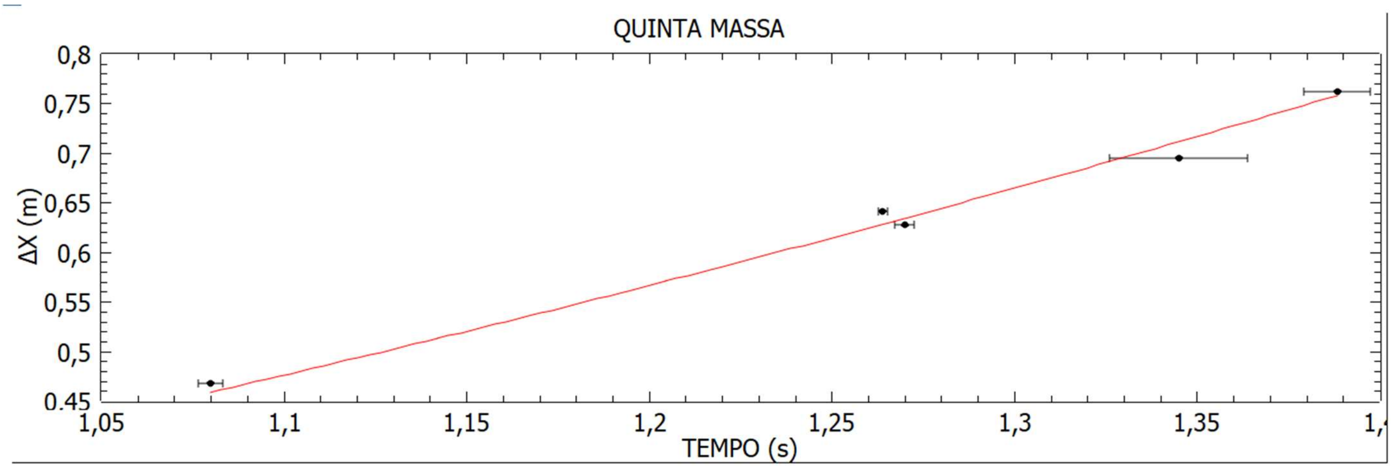
- Aceleração do Carrinho 4 com massa M4 = **(0,3036 ± 0,0001) kg**



```
[sexta-feira, 31 de março de 2023 14:47:46 Hora oficial do Brasil   Plot: "Graph1"]
Non-linear fit of dataset: Table1_ΔX(m) , using function: a*x*x
Y standard errors: Unknown
Scaled Levenberg-Marquardt algorithm with tolerance = 0,0001
From x = 0,7162 to x = 1,2822
a  = 0,467243793049728 +/- 0,00181461932128574
---------------------------------------------------------------------------------
Chi^2 = 0,000105083937739455
R^2 = 0,999939672159557
---------------------------------------------------------------------------------
Iterations = 1
Status = success
---------------------------------------------------------------------------------
```

Logo, a aceleração do Carrinho 4 pelo Ajuste Não Linear realizado será 2 * a e sua incerteza por propagação de Incertezas será 2 * σ_C, sendo os respectivos valores gerados pelo gráfico no Sci-Davies. Aceleração = (2 * 0,467 ± 2 * 0,002) => **Aceleração 4 = (0,934 ± 0,004) m/s²**.

- Aceleração do Carrinho 5 com massa M5 = **(0,362 ± 0,0001) kg**



```
[sexta-feira, 31 de março de 2023 15:00:55 Hora oficial do Brasil   Plot: "Graph1"]
Non-linear fit of dataset: Table1_ΔX(m) , using function: a*x*x
Y standard errors: Unknown
Scaled Levenberg-Marquardt algorithm with tolerance = 0,0001
From x = 1,0799 to x = 1,3884
a  = 0,39315332407306 +/- 0,00331699197535
---------------------------------------------------------------------------------
Chi^2 = 0,000594241019243842
R^2 = 0,999715356481772
---------------------------------------------------------------------------------
Iterations = 1
Status = success
---------------------------------------------------------------------------------
```

Logo, a aceleração do Carrinho 5 pelo Ajuste Não Linear realizado será 2 * a e sua incerteza por propagação de Incertezas será 2 * σ_C, sendo os respectivos valores gerados pelo gráfico no Sci-Davies. Aceleração = (2 * 0,393 ± 2 * 0,003) => **Aceleração 5 = (0,786 ± 0,006) m/s²**.

8. Construção de Gráfico (m + M) versus 1/a

Vamos trazer a aceleração dos 5 sistemas e relembrar a fórmula: $a = \frac{m \cdot g}{m+M}$;
m = Massa pendurada no porta pesos e M = massa do carrinho;

- **Aceleração 1 = (1,294 ± 0,012) m/s²**
- **Aceleração 2 = (1,120 ± 0,003) m/s²**
- **Aceleração 3 = (1,054 ± 0,004) m/s²**
- **Aceleração 4 = (0,934 ± 0,004) m/s²**
- **Aceleração 5 = (0,786 ± 0,006) m/s²**

Precisamos saber o valor de (1/a **±** $\boldsymbol{\sigma_C}$) para cada valor de aceleração.

1. **Aceleração 1:** $\frac{1}{\mathrm{a}} = \frac{1}{1{,}294} \approx 0{,}773$ e a incerteza de 1/a deve ser feita por propagação de incertezas da seguinte forma: $\sigma_c = \sqrt{\left(\frac{\partial 1/a}{\partial a} \cdot \sigma_a\right)^2} = \frac{1}{a^2} \cdot \sigma_a$. Logo, teremos o valor de σ_c como $\frac{0{,}012}{(1{,}294)^2} \cong 0{,}007$. Logo, o valor para (1/a **±** $\boldsymbol{\sigma_C}$) será $(\mathbf{0{,}773 \pm 0{,}007})\ \boldsymbol{m^{-1}} \cdot \boldsymbol{s^2}$ e com Incerteza Relativa de $\left(\frac{0{,}007}{0{,}773}\right) \approx 0{,}0091 \approx 0{,}91\%$.

2. **Aceleração 2:** $\frac{1}{\mathrm{a}} = \frac{1}{1{,}12} \approx 0{,}893$ e a incerteza de 1/a deve ser feita por propagação de incertezas da seguinte forma: $\sigma_c = \sqrt{\left(\frac{\partial 1/a}{\partial a} \cdot \sigma_a\right)^2} = \frac{1}{a^2} \cdot$

σ_a. Logo, teremos o valor de σ_c como $\frac{0,003}{(1,12)^2} \cong 0,002$. Logo, o valor para (1/a **± $\boldsymbol{\sigma_C}$**) será $(\mathbf{0,893} \pm \mathbf{0,002})\ \boldsymbol{m^{-1}} \cdot \boldsymbol{s^2}$ e com Incerteza Relativa de $\left(\frac{0,002}{0,893}\right) \approx 0,00224 \approx 0,22\%$.

3. **Aceleração 3:** $\frac{1}{\mathrm{a}} = \frac{1}{1,054} \approx 0,949$ e a incerteza de 1/a deve ser feita por propagação de incertezas da seguinte forma: $\sigma_c = \sqrt{\left(\frac{\partial^1/_a}{\partial a} \cdot \sigma_a\right)^2} = \frac{1}{a^2} \cdot \sigma_a$. Logo, teremos o valor de σ_c como $\frac{0,004}{(1,054)^2} \cong 0,004$. Logo, o valor para (1/a **± $\boldsymbol{\sigma_C}$**) será $(\mathbf{0,949} \pm \mathbf{0,004})\ \boldsymbol{m^{-1}} \cdot \boldsymbol{s^2}$ e com Incerteza Relativa de $\left(\frac{0,004}{0,949}\right) \approx 0,004215 \approx 0,42\%$.

4. **Aceleração 4:** $\frac{1}{\mathrm{a}} = \frac{1}{0,934} \approx 1,071$ e a incerteza de 1/a deve ser feita por propagação de incertezas da seguinte forma: $\sigma_c = \sqrt{\left(\frac{\partial^1/_a}{\partial a} \cdot \sigma_a\right)^2} = \frac{1}{a^2} \cdot \sigma_a$. Logo, teremos o valor de σ_c como $\frac{0,004}{(0,934)^2} \cong 0,005$. Logo, o valor para (1/a **± $\boldsymbol{\sigma_C}$**) será $(\mathbf{1,071} \pm \mathbf{0,005})\ \boldsymbol{m^{-1}} \cdot \boldsymbol{s^2}$ e com Incerteza Relativa de $\left(\frac{0,005}{1,071}\right) \approx 0,0047 \approx 0,47\%$.

5. **Aceleração 5:** $\frac{1}{\mathrm{a}} = \frac{1}{0,786} \approx 1,272$ e a incerteza de 1/a deve ser feita por propagação de incertezas da seguinte forma: $\sigma_c = \sqrt{\left(\frac{\partial^1/_a}{\partial a} \cdot \sigma_a\right)^2} = \frac{1}{a^2} \cdot \sigma_a$. Logo, teremos o valor de σ_c como $\frac{0,006}{(0,786)^2} \cong 0,010$. Logo, o valor para (1/a **± $\boldsymbol{\sigma_C}$**) será $(\mathbf{1,272} \pm \mathbf{0,010})\ \boldsymbol{m^{-1}} \cdot \boldsymbol{s^2}$ e com Incerteza Relativa de $\left(\frac{0,01}{1,272}\right) \approx 0,0079 \approx 0,79\%$.

Precisamos saber o valor de ((m + M) ± σ_C) para cada valor de massas dos carrinhos.

1. **Carrinho 1:** Tem massa M1 = **(0,2045 ± 0,0001) kg** e massa m do porta pesos fixa para todos os experimentos no valor de m = **(0,0351 ± 0,0001) kg.** Logo, a massa conjugada de (m + M) será de (0,0351 + 0,2045) = (0,2396) kg. E sua incerteza deve ser encontrada pela propagação de incertezas da seguinte maneira: $\sigma_c = \sqrt{\left(\frac{\partial(M+m)}{\partial m} \cdot \sigma_m\right)^2 + \left(\frac{\partial(M+m)}{\partial M} \cdot \sigma_M\right)^2} = \sqrt{((0\ +\ 1) \cdot \sigma_m)^2 + ((1\ +\ 0) \cdot \sigma_M)^2} = \sqrt{(0,0001)^2 + (0,0001)^2} \approx 0,0001$. Logo teremos ((m + M) ± σ_C) como sendo: **(0,2396 ± 0,0001) kg** e com Incerteza Relativa de $\left(\frac{0,0001}{0,2396}\right) \approx 0,00042 \approx 0,042\%$.

2. **Carrinho 2:** Tem massa M2 = **(0,2429 ± 0,0001) kg** e massa m do porta pesos fixa para todos os experimentos no valor de m = **(0,0351**

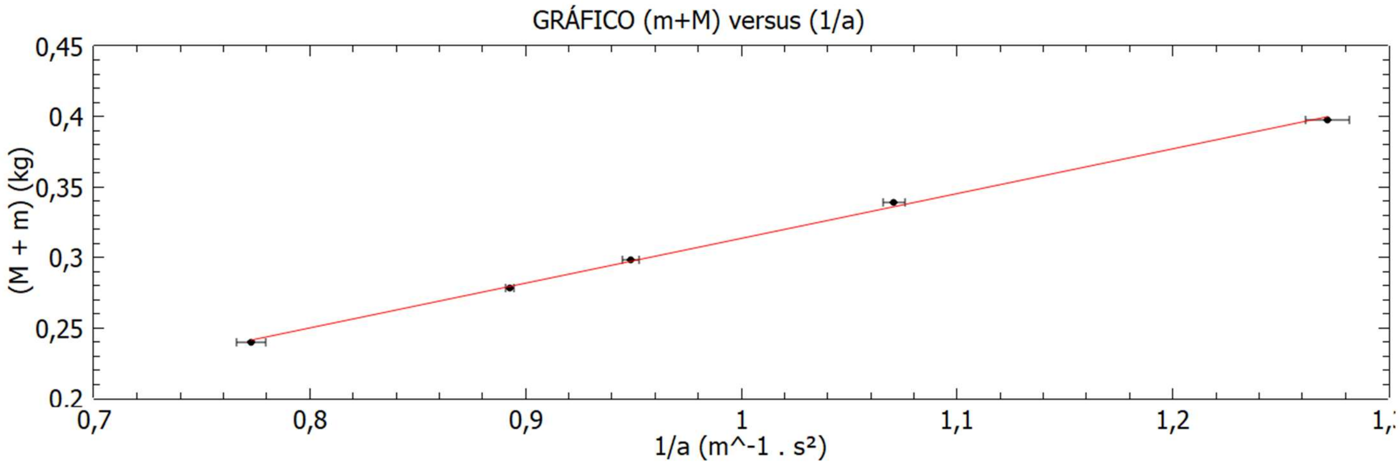
± 0,0001) kg. Logo, a massa conjugada de (m + M) será de (0,0351 + 0,2429) = (0,2780) kg. E sua incerteza deve ser encontrada pela propagação de incertezas da seguinte maneira: $\sigma_c = \sqrt{\left(\frac{\partial(M+m)}{\partial m} \cdot \sigma_m\right)^2 + \left(\frac{\partial(M+m)}{\partial M} \cdot \sigma_M\right)^2}$ = $\sqrt{((0 + 1) \cdot \sigma_m)^2 + ((1 + 0) \cdot \sigma_M)^2}$ = $\sqrt{(0{,}0001)^2 + (0{,}0001)^2} \approx$ 0,0001. Logo teremos ((m + M) ± σ_C) como sendo: **(0,2780 ± 0,0001) kg** e com Incerteza Relativa de $\left(\frac{0{,}0001}{0{,}2780}\right) \approx$ $0{,}0004 \approx 0{,}04\%$.

3. **Carrinho 3:** Tem massa M3 = **(0,2629 ± 0,0001) kg** e massa m do porta pesos fixa para todos os experimentos no valor de m = **(0,0351 ± 0,0001) kg.** Logo, a massa conjugada de (m + M) será de (0,0351 + 0,2629) = (0,2980) kg. E sua incerteza deve ser encontrada pela propagação de incertezas da seguinte maneira: $\sigma_c = \sqrt{\left(\frac{\partial(M+m)}{\partial m} \cdot \sigma_m\right)^2 + \left(\frac{\partial(M+m)}{\partial M} \cdot \sigma_M\right)^2}$ = $\sqrt{((0 + 1) \cdot \sigma_m)^2 + ((1 + 0) \cdot \sigma_M)^2}$ = $\sqrt{(0{,}0001)^2 + (0{,}0001)^2} \approx$ 0,0001. Logo teremos ((m + M) ± σ_C) como sendo: **(0,2980 ± 0,0001) kg** e com Incerteza Relativa de $\left(\frac{0{,}0001}{0{,}2980}\right) \approx$ $0{,}000336 \approx 0{,}0336\ \%$.

4. **Carrinho 4:** Tem massa M4 = **(0,3036 ± 0,0001) kg** e massa m do porta pesos fixa para todos os experimentos no valor de m = **(0,0351 ± 0,0001) kg.** Logo, a massa conjugada de (m + M) será de (0,0351 + 0,3036) = (0,3387) kg. E sua incerteza deve ser encontrada pela propagação de incertezas da seguinte maneira: $\sigma_c = \sqrt{\left(\frac{\partial(M+m)}{\partial m} \cdot \sigma_m\right)^2 + \left(\frac{\partial(M+m)}{\partial M} \cdot \sigma_M\right)^2}$ = $\sqrt{((0 + 1) \cdot \sigma_m)^2 + ((1 + 0) \cdot \sigma_M)^2}$ = $\sqrt{(0{,}0001)^2 + (0{,}0001)^2} \approx$ 0,0001. Logo teremos ((m + M) ± σ_C) como sendo: **(0,3387 ± 0,0001) kg** e com Incerteza Relativa de $\left(\frac{0{,}0001}{0{,}3387}\right) \approx$ $0{,}0003 \approx 0{,}03\%$.

5. **Carrinho 5:** Tem massa M5 = **(0,3620 ± 0,0001) kg** e massa m do porta pesos fixa para todos os experimentos no valor de m = **(0,0351 ± 0,0001) kg.** Logo, a massa conjugada de (m + M) será de (0,0351 + 0,3620) = (0,3971) kg. E sua incerteza deve ser encontrada pela propagação de incertezas da seguinte maneira: $\sigma_c = \sqrt{\left(\frac{\partial(M+m)}{\partial m} \cdot \sigma_m\right)^2 + \left(\frac{\partial(M+m)}{\partial M} \cdot \sigma_M\right)^2}$ = $\sqrt{((0 + 1) \cdot \sigma_m)^2 + ((1 + 0) \cdot \sigma_M)^2}$ = $\sqrt{(0{,}0001)^2 + (0{,}0001)^2} \approx$ 0,0001. Logo teremos ((m + M) ± σ_C) como sendo: **(0,3971 ± 0,0001) kg** e com Incerteza Relativa de $\left(\frac{0{,}0001}{0{,}3971}\right) \approx$ $0{,}000252 \approx 0{,}025\%$

Podemos agora demonstrar o Gráfico (M+m) versus 1/a:



[sexta-feira, 31 de março de 2023 21:14:26 Hora oficial do Brasil Plot: "Graph7"]
Linear Regression fit of dataset: Table1_(M+m) , using function: A*x+B
Y standard errors: Associated dataset (Table1_(M+m) Error)
From x = 0,773 to x = 1,272
B (y-intercept) = -0,0042622522377 6305 +/- 0,000264884446255568
A (slope) = 0,317206789267611 +/- 0,000263293587894916

Chi^2 = 1.929,1028358863
R^2 = 0,998672684493979

Podemos agora encontrar a Gravidade dividindo coeficiente A encontrado pelo Sci-Davies pela massa do porta peso Fixo em todo experimento, sendo assim temos: $\frac{0,3172}{0,0351} \approx 9,04\, m\,/\,s^2$. E sua incerteza encontramos propagando por incertezas a fórmula usada A/m dessa maneira: $\sigma_C =$

$$\sqrt{\left(\frac{\partial\left(\frac{A}{m}\right)}{\partial m}\cdot\sigma_M\right)^2+\left(\frac{\partial\left(\frac{A}{M}\right)}{\partial A}\cdot\sigma_A\right)^2} \Rightarrow \sigma_C=\sqrt{\left(-\frac{A}{m^2}\cdot\sigma_m\right)^2+\left(\frac{1}{m}\cdot\sigma_A\right)^2}$$

$$\Rightarrow \sigma_c=\sqrt{\left(-\frac{0,3172}{0,0351^2}\cdot 0,0001\right)^2+\left(\frac{0,0003}{0,0351}\right)^2} \approx 0,03\, m/s^2$$

Logo, teremos uma gravidade de **(9,04 ± 0,03) m/s²** e Incerteza Relativa de $\left(\frac{0,03}{9,04}\right) \approx 0,00332 \approx 0,332\%$.

9. Conclusão

O grupo utilizou instrumentos de laboratório para medir o tempo que o carrinho levava para percorrer 5 posições diferentes com 5 massas diferentes. Com os dados coletados, o grupo calculou a aceleração de cada carrinho, plotando as informações no software Sci-Davis. A partir disso, encontraram uma estimativa para o valor da gravidade, $g = (9,04 \pm 0,03)\ m/s^2$. Comparando com o valor de referência de $9,78\ m/s^2$, o erro absoluto foi de -0,74 e o erro relativo de - 7,6%. Essa divergência se deu pelo sistema não ser ideal e ter interferência de forças externas e pela incerteza dos instrumentos. O experimento permitiu ao grupo aprender a manusear novos instrumentos e compreender o processo de cálculo da aceleração e suas incertezas.

10. Referências

[1] Fabiana Dias, Segunda Lei de Newton (Princípio Fundamental da Dinâmica), disponível em:

https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/fisica/segunda-lei-de-newton-principio-fundamental-da-dinamica, acesso em: 24/03/2023

[2] Propagação de Incerteza, disponível em:

https://www.fep.if.usp.br/~fisfoto/guias/roteiro_incertezas_2015.pdf, acesso em 17/02/2023