



Relatório 8 – Grupo G2

OBJETIVO:

- Estudar as propriedades da força elástica e das associações de molas.

MATERIAL UTILIZADO:

- Kit de estática e acessórios do trilho de ar

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Tabela 1: Massas que compõem o sistema

Suporte	M1 10g	M2 20g	M3 10g	M4 50g	M5 50g
$(0,00794 \pm 0,00001) \text{ kg}$	$(0,00957 \pm 0,00001) \text{ kg}$	$(0,01803 \pm 0,00001) \text{ kg}$	$(0,00896 \pm 0,00001) \text{ kg}$	$(0,04669 \pm 0,00001) \text{ kg}$	$(0,04748 \pm 0,00001) \text{ kg}$

Tabela 2: Valores do comprimento das molas

$L_0M_1 =$	$(0,110 \pm 0,002) \text{ m}$
$L_0M_2 =$	$(0,105 \pm 0,002) \text{ m}$

Tabela 3: Comprimento da mola 1 em função da massa

Massa	L_1 (m)	L_2 (m)	L_3 (m)	$L_{\text{médio}}$ (m)	ΔL (m)	Força (N)
S + M1	$(0,129 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,129 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,131 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,130 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,020 \pm 0,004) \text{ m}$	$(0,1716 \pm 0,0002) \text{ N}$
S + M2	$(0,140 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,141 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,140 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,140 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,030 \pm 0,004) \text{ m}$	$(0,2545 \pm 0,0002) \text{ N}$
S + M1 + M2	$(0,153 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,154 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,153 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,153 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,043 \pm 0,004) \text{ m}$	$(0,3483 \pm 0,0003) \text{ N}$
S + M1 + M2 + M3	$(0,165 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,166 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,166 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,166 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,056 \pm 0,004) \text{ m}$	$(0,4361 \pm 0,0004) \text{ N}$
S + M4	$(0,180 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,181 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,180 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,180 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,070 \pm 0,004) \text{ m}$	$(0,5354 \pm 0,0002) \text{ N}$
S + M1 + M4	$(0,191 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,191 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,192 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,191 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,081 \pm 0,004) \text{ m}$	$(0,6292 \pm 0,0003) \text{ N}$
S + M2 + M4	$(0,205 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,205 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,206 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,205 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,095 \pm 0,004) \text{ m}$	$(0,7121 \pm 0,0003) \text{ N}$

Tabela 4: Comprimento da mola 2 em função da massa

Massa	L_1 (m)	L_2 (m)	L_3 (m)	$L_{\text{médio}}$ (m)	ΔL (m)	Força (N)
S + M1	$(0,134 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,133 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,133 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,133 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,028 \pm 0,004) \text{ m}$	$(0,1716 \pm 0,0002) \text{ N}$
S + M2	$(0,147 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,147 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,146 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,147 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,042 \pm 0,004) \text{ m}$	$(0,2545 \pm 0,0002) \text{ N}$
S + M1 + M2	$(0,160 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,160 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,160 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,160 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,055 \pm 0,004) \text{ m}$	$(0,3483 \pm 0,0003) \text{ N}$
S + M1 + M2 + M3	$(0,168 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,169 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,168 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,168 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,063 \pm 0,004) \text{ m}$	$(0,4361 \pm 0,0004) \text{ N}$
S + M4	$(0,181 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,183 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,183 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,182 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,077 \pm 0,004) \text{ m}$	$(0,5354 \pm 0,0002) \text{ N}$
S + M1 + M4	$(0,192 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,196 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,196 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,195 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,090 \pm 0,004) \text{ m}$	$(0,6292 \pm 0,0003) \text{ N}$
S + M2 + M4	$(0,209 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,209 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,208 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,209 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,104 \pm 0,004) \text{ m}$	$(0,7121 \pm 0,0003) \text{ N}$

Tabela 5: Comprimento da associação em série das molas:

$L_0L_s =$	$(0,240 \pm 0,002) \text{ m}$
------------	-------------------------------

Tabela 6: Comprimento da mola1 em série com a mola 2 em função da massa

Massa	L_1 (m)	L_2 (m)	L_3 (m)	$L_{\text{médio}}$ (m)	ΔL (m)	Força (N)
0	$(0,240 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,240 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,240 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,240 \pm 0,002) \text{ m}$	0	0
S + M1	$(0,287 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,286 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,287 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,287 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,047 \pm 0,004) \text{ m}$	$(0,1716 \pm 0,0002) \text{ N}$
S + M2	$(0,306 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,306 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,307 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,306 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,066 \pm 0,004) \text{ m}$	$(0,2545 \pm 0,0002) \text{ N}$
S+ M1+ M2	$(0,334 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,335 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,336 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,335 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,095 \pm 0,004) \text{ m}$	$(0,3483 \pm 0,0003) \text{ N}$
S+ M1+ M2 + M3	$(0,360 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,360 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,359 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,360 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,120 \pm 0,004) \text{ m}$	$(0,4361 \pm 0,0004) \text{ N}$
S + M4	$(0,385 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,385 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,386 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,385 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,145 \pm 0,004) \text{ m}$	$(0,5354 \pm 0,0002) \text{ N}$

Tabela 7: Comprimentos da associação em paralelo das molas

$L_0M_p =$	$(0,152 \pm 0,002) \text{ m}$
------------	-------------------------------

Tabela 8: Comprimento da mola1 em paralelo com a mola 2 em função da massa

Massa	L_1 (m)	L_2 (m)	L_3 (m)	$L_{\text{médio}}$ (m)	ΔL (m)	Força (N)
0	$(0,152 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,152 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,152 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,152 \pm 0,002) \text{ m}$	0	0
S+ M1+ M2	$(0,177 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,177 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,176 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,177 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,025 \pm 0,004) \text{ m}$	$(0,3483 \pm 0,0003) \text{ N}$
S + M4	$(0,191 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,191 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,191 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,191 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,039 \pm 0,004) \text{ m}$	$(0,5354 \pm 0,0002) \text{ N}$
S+ M1+ M2+M4	$(0,210 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,210 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,210 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,210 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,058 \pm 0,004) \text{ m}$	$(0,8059 \pm 0,0004) \text{ N}$
S + M4 +M5	$(0,222 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,222 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,222 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,222 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,070 \pm 0,004) \text{ m}$	$(1,0007 \pm 0,0003) \text{ N}$
S+ M1+ M2+ M3+M4+ M5	$(0,246 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,246 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,246 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,246 \pm 0,002) \text{ m}$	$(0,094 \pm 0,004) \text{ m}$	$(1,3590 \pm 0,0006) \text{ N}$

Para apresentar no relatório:

Tabela 9: $k_{\text{médio}}$ determinado referente a tabela 3

Massa	K (N/m)
S + M1	$(9 \pm 2) \text{ N/m}$
S + M2	$(8 \pm 1) \text{ N/m}$
S+ M1+ M2	$(8,1 \pm 0,8) \text{ N/m}$
S+ M1+ M2 + M3	$(7,8 \pm 0,6) \text{ N/m}$
S + M4	$(7,6 \pm 0,4) \text{ N/m}$
S + M1 +M4	$(7,8 \pm 0,4) \text{ N/m}$
S + M2 +M4	$(7,5 \pm 0,3) \text{ N/m}$
K (N/m) médio:	$(8,0 \pm 0,8) \text{ N/m}$

Tabela 10: $k_{\text{médio}}$ determinado referente a tabela 4

Massa	K(N/m)
S + M1	$(6,1 \pm 0,9)$ N/m
S + M2	$(6,1 \pm 0,6)$ N/m
S+ M1+ M2	$(6,3 \pm 0,5)$ N/m
S+ M1+ M2 + M3	$(6,9 \pm 0,4)$ N/m
S + M4	$(7,0 \pm 0,4)$ N/m
S + M1 +M4	$(7,0 \pm 0,3)$ N/m
S + M2 +M4	$(6,8 \pm 0,3)$ N/m
K (N/m) médio:	$(6,6 \pm 0,5)$ N/m

Tabela 11: $k_{\text{médio}}$ determinado referente a tabela 6

Massa	K(N/m)
S + M1	$(3,7 \pm 0,3)$ N/m
S + M2	$(3,9 \pm 0,2)$ N/m
S+ M1+ M2	$(3,7 \pm 0,2)$ N/m
S+ M1+ M2 + M3	$(3,6 \pm 0,1)$ N/m
S + M4	$(3,7 \pm 0,1)$ N/m
K (N/m) médio:	$(3,7 \pm 0,2)$ N/m

Tabela 12: $k_{\text{médio}}$ determinado referente a tabela 8

Massa	K(N/m)
S+ M1+ M2	(14 ± 2) N/m
S + M4	(14 ± 1) N/m
S+ M1+ M2+M4	(14 ± 1) N/m
S + M4 +M5	$(14,3 \pm 0,8)$ N/m
S+ M1+ M2+ M3+M4+ M5	$(14,5 \pm 0,6)$ N/m
K (N/m) médio:	(14 ± 1) N/m

Gráfico 1: Gráfico Força x $\Delta L_{\text{médio}}$ referente a tabela 3

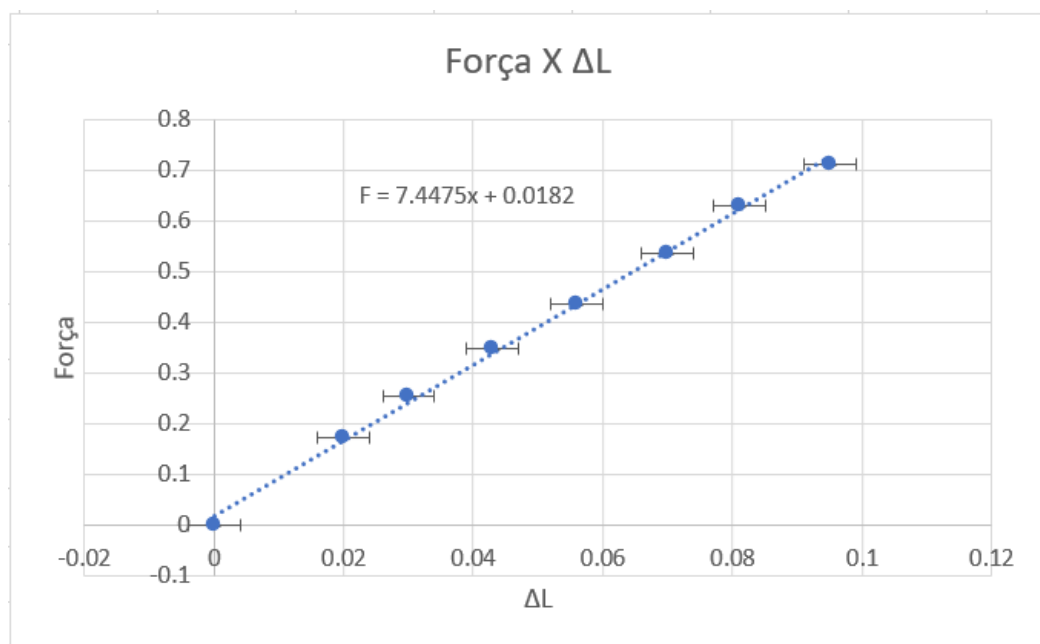


Gráfico 2: Gráfico Força x $\Delta L_{\text{médio}}$ referente a tabela 4

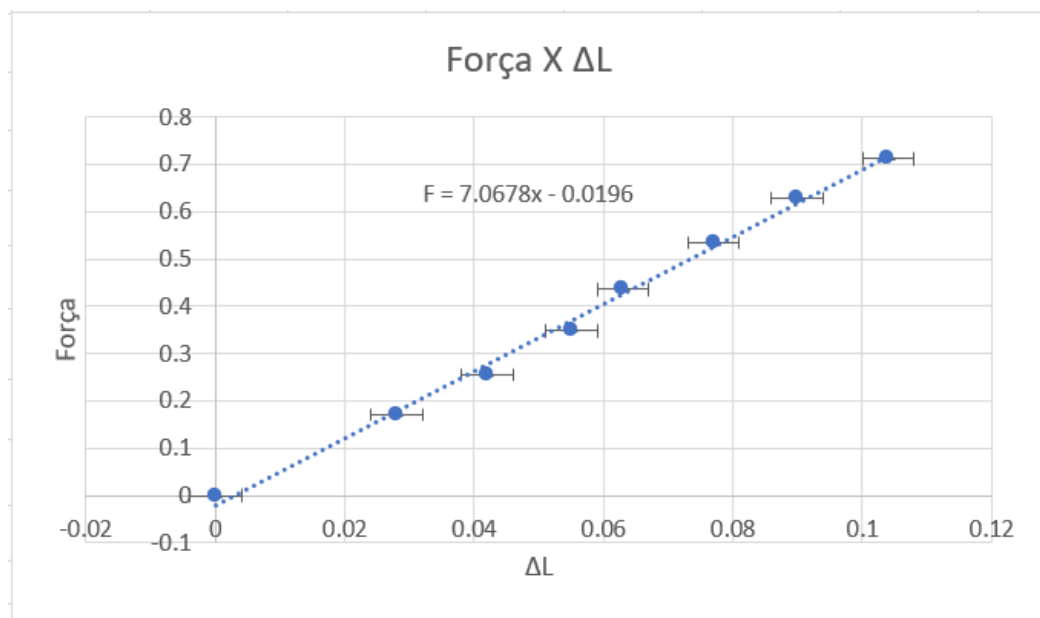


Gráfico 3: Gráfico Força x $\Delta L_{\text{médio}}$ referente a tabela 6

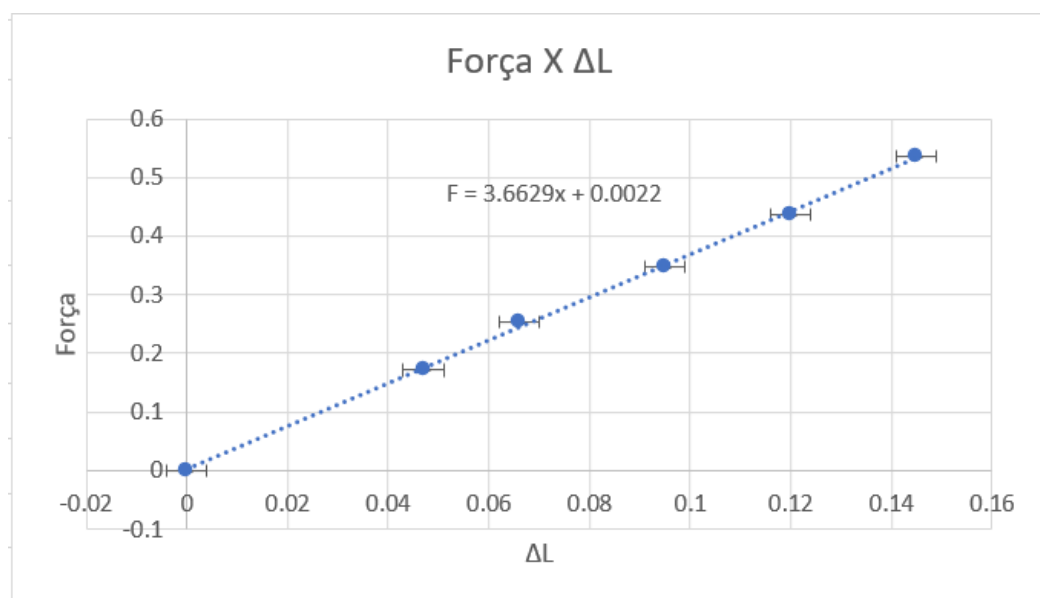


Gráfico 4: Gráfico Força x $\Delta L_{\text{médio}}$ referente a tabela 8

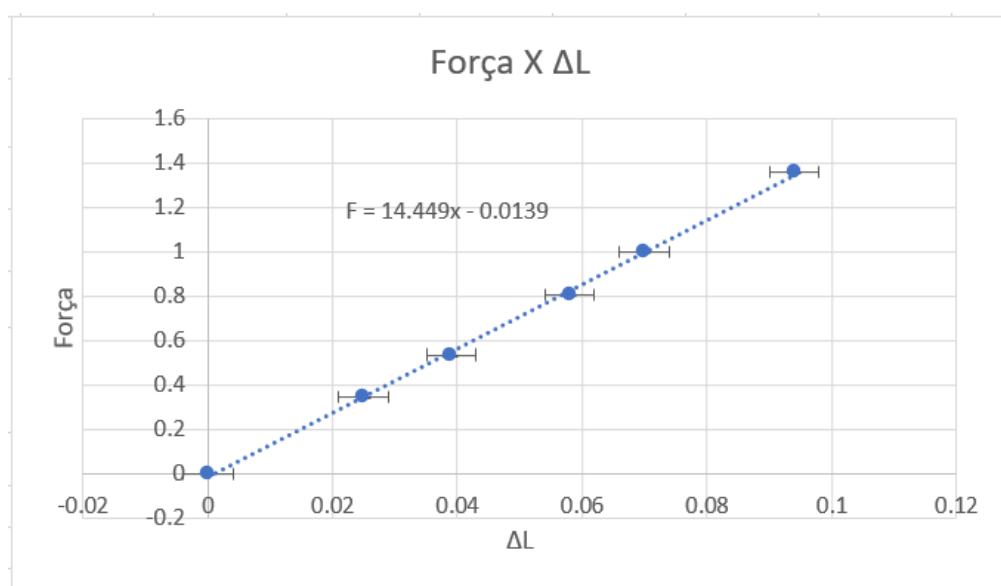


Gráfico 5: Área sob a curva referente ao gráfico 1

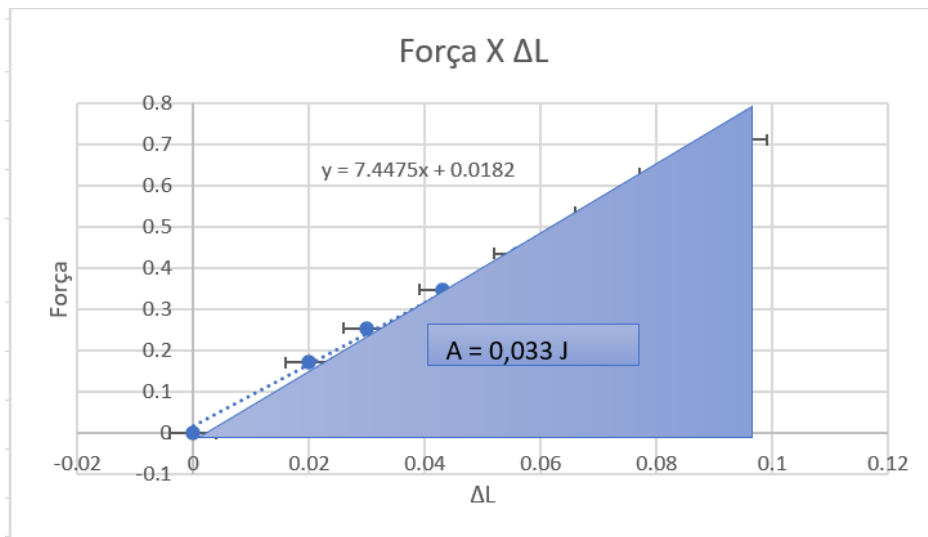


Gráfico 6: Área sob a curva referente ao gráfico 2

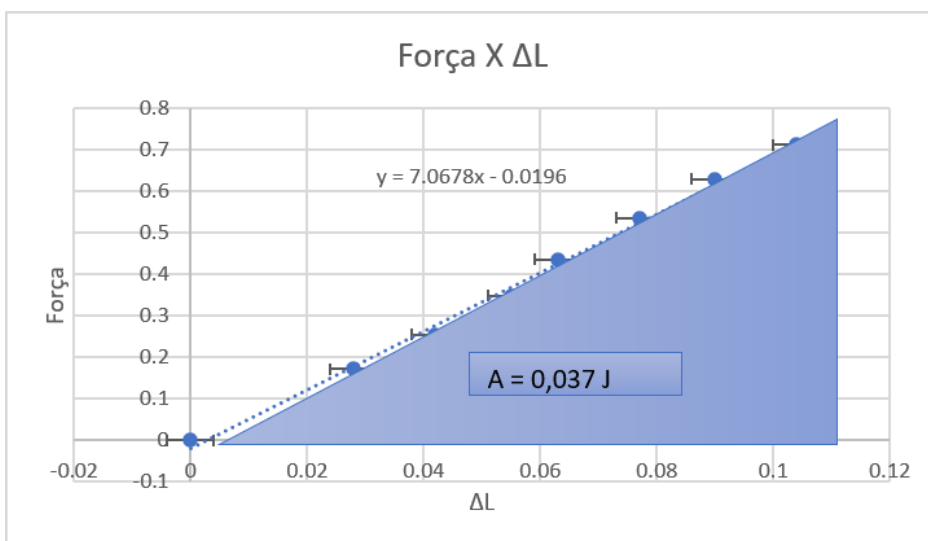


Gráfico 7: Área sob a curva referente ao gráfico 3

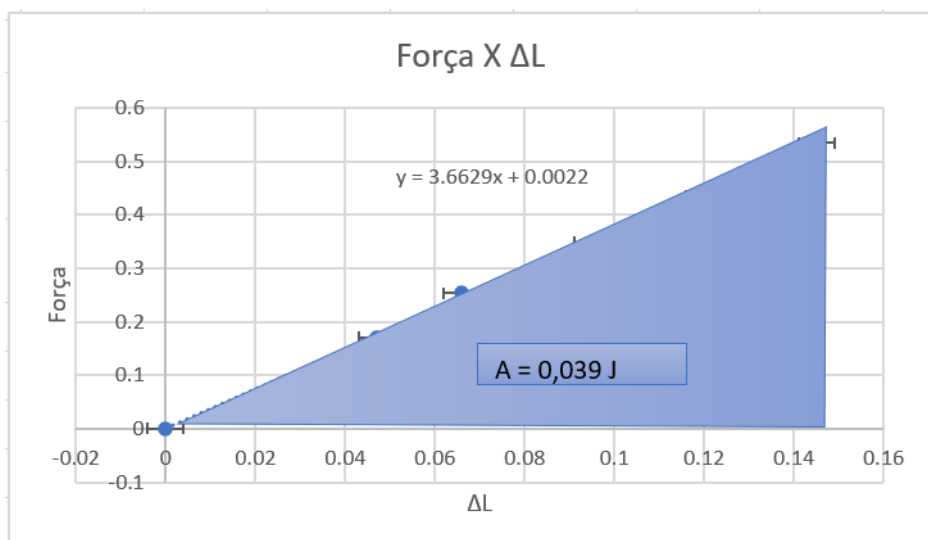
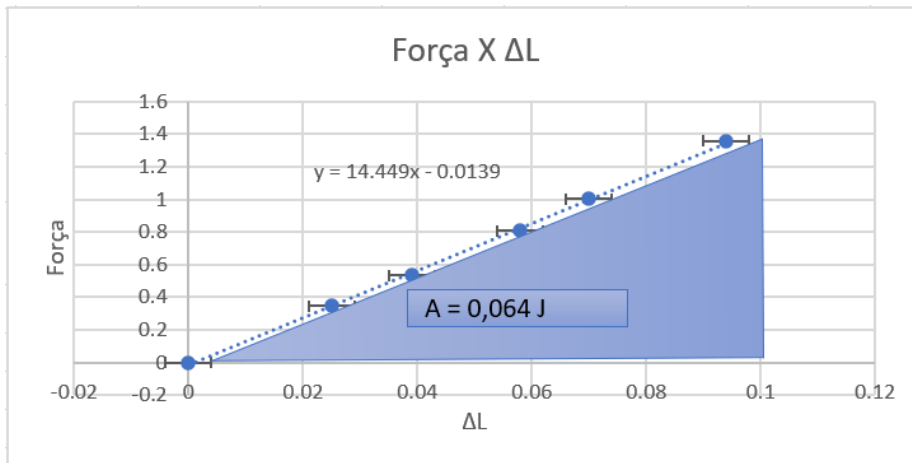


Gráfico 8: Área sob a curva referente ao gráfico 4



A área sob a curva é numericamente o trabalho realizado pela energia potencial elástica (Epel).

$$area = T = \frac{b \cdot h}{2} = \frac{x \cdot F}{2}$$

Outra forma de obter esta grandeza, seria:

$$T = \frac{x \cdot k \cdot x}{2} = \frac{k \cdot x^2}{2}$$

Como $F = k \cdot x$, em módulo, temos,

Pela conservação da energia, $T = Epel$. Logo, chegamos à equação da energia potencial elástica:

$$Epel = \frac{k \cdot x^2}{2}$$

O coeficiente angular dos gráficos representa, numericamente, a constante elástica (k). Já o coeficiente linear representa a força mínima que é preciso para deformar a mola.

Na associação em série ($k = 3,7$, encontrado na tabela):

$$1/k = 1/8 + 1/6,6$$

$$K \approx 3,6$$

Na associação em paralelo ($k = 14$, encontrado na tabela):

$$K = 8 + 6,6$$

$$K \approx 14,6$$

O significado físico dos gráficos representa o quanto a mola vai se deformar em relação a força de peso que é aplicada sobre ela.

De acordo com a Lei de Hooke ($F = Kx$), uma mola se deforma quando uma força é aplicada sobre ela, e essa força pode ser calculada multiplicando a deformação pela constante elástica da mola. Quanto maior for essa constante, mais rígida é a mola e mais difícil será deformá-la, pois

será necessário aplicar uma grande quantidade de força para que a deformação ocorra. Além disso, a deformação é diretamente proporcional à força aplicada sobre a mola.

Isso pode ser facilmente observado em nossos experimentos, nos quais, para uma mesma aplicação de força peso em molas diferentes, ocorre uma deformação um pouco menor na primeira do que na segunda, e calculando ambas as constantes elásticas, constatamos que a primeira teve um $K_{\text{médio}} = (8,0 \pm 0,8) \text{ N/m}$ maior do que a segunda, na qual o $K_{\text{médio}} = (6,6 \pm 0,5) \text{ N/m}$.

Além disso, quando associamos duas molas em série ou em paralelo, a constante elástica é alterada. Consideramos as duas molas como uma única mola e, por meio de cálculos, é possível concluir que, para associações em série, temos que:

$$1/K_{\text{eq}} = 1/K_1 + 1/K_2.$$

E para associações em paralelo, temos:

$$K_{\text{eq}} = K_1 + K_2.$$

Utilizando a mesma força peso para ambas as associações, foi possível constatar que, em nossa associação em série, $K_{\text{eq}} = (3,7 \pm 0,2) \text{ N/m}$ e tivemos deformações muito maiores. Já na associação em paralelo, calculamos $K_{\text{eq}} = (14 \pm 1) \text{ N/m}$ e tivemos deformações muito menores. Dessa forma, nossos resultados foram satisfatórios, pois comprovamos que as associações em série se deformam mais do que as associações em paralelo.

$$\text{Desvio (Associação em série)} = (3,7 - 3,6) / 3,6 = 2,7\%$$

$$\text{Desvio (Associação em paralelo)} = (14 - 14,6) / 14,6 = 4,1\%$$