

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

FACULDADE DE FILOSOFIA, CIÊNCIAS E LETRAS DE
RIBEIRÃO PRETO

RELATÓRIO
EXPERIMENTO 2
PÊNDULO FÍSICO
FÍSICA II

HILARY Ísis DA SILVA, 11215873

RIBEIRÃO PRETO
MARÇO / 2020

INTRODUÇÃO

PÊNDULO FÍSICO É CHAMADO UM SÓLIDO QUE OSCILA, SOB AÇÃO DA FORÇA DA GRAVIDADE, EM TORNO DE UM EIXO FIXO QUE NÃO PASSA PELO SEU CENTRO DE GRAVIDADE, TAMBÉM CONHECIDO COMO EIXO DE OSCILAÇÃO.

NA QUÍMICA, ESSE MOVIMENTO SE APLICA NAS VIBRAÇÕES DAS MOLÉCULAS.

O PERÍODO T PARA PEQUENAS OSCILAÇÕES DO PÊNDULO SIMPLES É:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (\text{EQ. 1})$$

onde: g = aceleração da gravidade
 l = comprimento do fio (inextensível e de massa desprezível).

JÁ O PÊNDULO COMPOSTO OU PÊNDULO FÍSICO SE RELACIONA COM A MASSA QUE PARTE DO MOMENTO DE INÉRCIA.

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} = -mgr \sin\theta \quad (\text{EQ. 2})$$

CONSIDERANDO O MOVIMENTO COMO HARMÔNICO SIMPLES SE OS DESLOCAMENTOS ANGULARES FOREM PEQUENOS. ASSIM, SENDO θ O, TEMOS

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{mgr\theta}{I} \quad (\text{EQ. 3})$$

A SOLUÇÃO DESTA DIFERENCIAL É DESCRITA A PARTIR DA COMBINAÇÃO LINEAR DE FUNÇÕES PERIÓDICAS, CUJO PERÍODO É:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgr}} \quad (\text{EQ. 4})$$

O MOMENTO DE INÉRCIA, POR SUA VEZ, É DEFINIDO PELA RESISTÊNCIA À MUDANÇA DA VELOCIDADE ANGULAR.

$$I = I_c + mr^2 \quad (\text{EQ. 5})$$

RELACIONANDO AS EQUAÇÕES 4 e 5 É POSSÍVEL EXPRESSAR O PERÍODO DE OSCILAÇÃO. A EQ. 6 NOS MOSTRA QUE É POSSÍVEL ENCONTRAR DUAS POSSÍVEIS SOLUÇÕES r_1 e r_2 .

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R^2 + r^2}{gr}} \quad (\text{EQ. 6})$$

ASSIM, CALCULA-SE A EQUAÇÃO PARA O PERÍODO MÍNIMO:

$$T_{\min} = 2\pi \sqrt{\frac{2R}{g}} \quad (\text{EQ. 7})$$

OBJETIVOS

ENTENDER O FUNCIONAMENTO DE UM PÊNDULO COMPOSTO, OU PÊNDULO FÍSICO, CORRELACIONÁ-LO COM O PÊNDULO SIMPLES, DETERMINAR A ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE E O MOMENTO DE INÉRCIA DO CORPO.

PARTE EXPERIMENTAL

NA PARTE EXPERIMENTAL SEGUIR-SE OS SEGUINTE PASSOS:

- MEDIÇÃO DAS DIMENSÕES DA BARRA.
- ENUMERAÇÃO DOS 20 PRIMEIROS Furos DA BARRA
- MEDIÇÃO DA DISTÂNCIA DE CADA Furo ATÉ A EXTREMIDADE (d).
- POSICIONAR A BARRA PARA OSCILAÇÃO COM UM PEQUENO ÂNGULO ENTRE A BARRA E O SUPORTE.
- PARA CADA Furo, MEDIR O TEMPO NECESSÁRIO PARA COMPLETAR

30 OSCILAÇÕES (4 PERÍODOS POR ANO).

COM OS DADOS OBTIDOS FOI FEITA A TABELA 1, QUE SE ENCONTRA NO ANEXO DESSE RELATÓRIO.

A PARTIR DOS DADOS DA TABELA FOI FEITA A ANÁLISE DOS DADOS

ANÁLISE DOS DADOS

1. DEFINIR O RAIO DE GIRO.

PARA DEFINIR O RAIO DE GIRO, UTILIZAREMOS A EQUAÇÃO 6.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R^2 + r^2}{gr}}$$

O PERÍODO UTILIZADO SERÁ O MÍNIMO OBTIDO NOS EXPERIMENTOS. OBTIDOS NO EXPERIMENTO NESSE CASO $T = 1,25s$.

COM A EQUAÇÃO 6, UTILIZAREMOS OS DADOS DA TABELA 1 PARA ENCONTRAR O RAIO DE GIRO (R).

Tabela 2: Cálculo Raio de Giro.

Nº DE FUNDS	r (cm)	T (s)	$T = 2\pi \sqrt{\frac{R^2 + r^2}{gr}}$	R
1	47,5	1,557	$1,557 = 2\pi \sqrt{\frac{R^2 + (47,5)^2}{9,8 \cdot 47,5}}$	0,2454
2	45,0	1,518	$1,518 = 2\pi \sqrt{\frac{R^2 + (45)^2}{9,8 \cdot 45}}$	0,2343
3	42,5	1,554	$1,554 = 2\pi \sqrt{\frac{R^2 + 42,5^2}{9,8 \cdot 42,5}}$	0,2723
4	40,0	1,539	$1,539 = 2\pi \sqrt{\frac{R^2 + 40^2}{9,8 \cdot 40}}$	0,2742
5	37,5	1,541	$1,541 = 2\pi \sqrt{\frac{R^2 + 37,5^2}{9,8 \cdot 37,5}}$	0,2836
6	35,0	1,519	$1,519 = 2\pi \sqrt{\frac{R^2 + 35^2}{9,8 \cdot 35}}$	0,2792

7	32,5	1,528	$1,528 = 2\pi \sqrt{\frac{R^2 + 32,5^2}{9,8 \cdot 32,5}}$	0,2876
8	30,0	1,520	$1,520 = 2\pi \sqrt{\frac{R^2 + 30^2}{9,8 \cdot 30}}$	0,2864
9	27,5	1,543	$1,543 = 2\pi \sqrt{\frac{R^2 + 27,5^2}{9,8 \cdot 27,5}}$	0,2942
10	25,0	1,524	$1,524 = 2\pi \sqrt{\frac{R^2 + 25^2}{9,8 \cdot 25}}$	0,2857
11	22,5	1,530	$1,530 = 2\pi \sqrt{\frac{R^2 + 22,5^2}{9,8 \cdot 22,5}}$	0,2830
12	20	1,534	$1,534 = 2\pi \sqrt{\frac{R^2 + 20^2}{9,8 \cdot 20}}$	0,2744
13	17,5	1,588	$1,588 = 2\pi \sqrt{\frac{R^2 + 17,5^2}{9,8 \cdot 17,5}}$	0,2810
14	15,0	1,628	$1,628 = 2\pi \sqrt{\frac{R^2 + 15^2}{9,8 \cdot 15}}$	0,2755
15	12,5	1,725	$1,725 = 2\pi \sqrt{\frac{R^2 + 12,5^2}{9,8 \cdot 12,5}}$	0,2770
16	10	1,884	$1,884 = 2\pi \sqrt{\frac{R^2 + 10^2}{9,8 \cdot 10}}$	0,2795
17	7,5	2,124	$2,124 = 2\pi \sqrt{\frac{R^2 + 7,5^2}{9,8 \cdot 7,5}}$	0,2799
18	5,0	2,532	$2,532 = 2\pi \sqrt{\frac{R^2 + 5^2}{9,8 \cdot 5}}$	0,2776
19	2,5	3,467	$3,467 = 2\pi \sqrt{\frac{R^2 + 2,5^2}{9,8 \cdot 2,5}}$	0,2720

MÉDIA = 0,2792 DESVIO = 0,015

DESSA MANEIRA, OBTIVE-SE O VALOR MÉDIO DO RAIO DE GIRO (R).

OUTRA FORMA DE CALCULAR O RAIO DE GIRO É ATRAVÉS DO GRÁFICO PLOTADO DE d COM $\times T(\Delta)$.

OS GRÁFICOS 1 e 2 FORAM PLOTADOS DE ACORDO COM A TABELA 1 E SE ENCONTRAM NO ANEXO DESSE RELATÓRIO.

O GRÁFICO 1 CONSISTE NA PLOTAGEM DE TODOS OS DADOS DA TABELA MOSTRANDO A TENDÊNCIA DO PERÍODO DE OSCILAÇÃO CONFORME A DISTÂNCIA DO CENTRO DE MASSA.

JÁ O GRÁFICO 2, USOU-SE OS DADOS DA TABELA ATÉ DE 35cm. TRAÇANDO A LINHA DE TENDÊNCIA DO GRÁFICO, PODEMOS OBSERVAR UMA PARÁBOLA, O QUE FAZ SENTIDO VISTO QUE É UMA EQUAÇÃO QUADRÁTICA.

ENTÃO, PARA UM MESMO VALOR DE T , PEGOU-SE ~~DOIS~~ A DUAS RAÍZES (d), E UTILIZANDO NA EQUAÇÃO 6, PODEMOS OBTER O RAIO DE ROTACÃO R .

SÓ UMA OBSERVAÇÃO QUE O GRÁFICO USA-SE d , E O r É $50-d$.

ENTÃO,

$$(T)^2 = \left(2\pi \sqrt{\frac{R^2 + r^2}{g \cdot r}} \right)^2, \quad \text{UTILIZAREMOS } \pi = 1,59$$

$d_1 = 7\text{cm} \quad d_2 = 25,5$
 $r_1 = 43 \quad r_2 = 24,5$

$$T^2 = 4\pi^2 \cdot \frac{R^2 + r^2}{g \cdot r}$$

$$T^2 \cdot g \cdot r = 4\pi^2 \cdot (R^2 + r^2)$$

$$r^2 + R^2 - \frac{T^2 g r}{4\pi^2} = 0$$

$$r^2 - \frac{T^2 g r}{4\pi^2} + R^2 = 0$$

$$r_1 = (-b + \sqrt{\Delta}) / 2a$$

$$r_2 = (-b - \sqrt{\Delta}) / 2a$$

$$\text{SOMA: } r_1 + r_2 = \frac{-b + \sqrt{\Delta}}{2a} - \frac{b \pm \sqrt{\Delta}}{2a}$$

$$r_1 + r_2 = \frac{-2b}{2a} = -\frac{b}{a}$$

$$\left. \begin{array}{l} b = \frac{-T^2 g}{4\pi^2} \\ a = 1 \end{array} \right\} -\frac{b}{a} = \frac{T^2 g}{4\pi^2}$$

$$r_1 + r_2 = \frac{T^2 g}{4\pi^2} \quad (\text{EQ. 8})$$

$$\text{PRODUTO: } r_1 \cdot r_2 = \left(\frac{-b + \sqrt{\Delta}}{2a} \right) \left(\frac{-b - \sqrt{\Delta}}{2a} \right)$$

$$r_1 \cdot r_2 = \frac{(-b)^2 - b\sqrt{\Delta} + b\sqrt{\Delta} - (\sqrt{\Delta})^2}{(2a)^2}$$

$$r_1 \cdot r_2 = \frac{b^2 - \Delta}{4a^2} = \frac{-b^2 - (b^2 - 4ac)}{4a^2} \Rightarrow r_1 \cdot r_2 = \frac{4ac}{4a^2} = \frac{c}{a}$$

$$r_1 \cdot r_2 = \frac{c}{a} \xrightarrow{R^2}$$

$$r_1 \cdot r_2 = R^2 \quad (\text{EQ. 9}).$$

COMO FOI DEMONSTRADO ANTERIORMENTE, A PARTIR DA EQ. 6 TEMOS QUE $r_1, r_2 = R^2$ (EQ. 9). ENTÃO, APLICANDO AO GRÁFICO, USANDO $r_1 = 43$ e $r_2 = 24,5$, TEMOS $R^2 = 1053,5$.

$$R = 32,45 \text{ cm} \Leftrightarrow R = 0,3245 \text{ m}.$$

COMPARANDO COM O VALOR OBTIDO DO PRIMEIRO MÉTODO ($R = 0,2792 \text{ m}$) PODEMOS OBSERVAR UMA PEQUENA DISCREPÂNCIA NOS VALORES.

ESSA DISCREPÂNCIA PODE SER ASSOCIADA AOS ERROS DO EXPERIMENTADOR, COMO POR EXEMPLO A LEITURA DO GRÁFICO NO CÁLCULO DO MÉTODO 2, QUE FOI FEITA PELO "OLHOMÉTRICO" NOS VALORES DE r .

VAMOS ANALISAR AGORA, O PERÍODO MÍNIMO COM O QUAL ESSE PÊNDULO PODE OSCILAR, ATRAVÉS DA EQUAÇÃO 7.

$$T_{\min} = 2\pi \sqrt{\frac{2R}{g}}$$

PARA R , USAREMOS A MÉDIA DOS VALORES OBTIDOS NOS DOIS MÉTODOS UTILIZADOS.

$$R_{\text{med}} = 0,3059 \text{ m}$$

$$T_{\min} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 0,3059}{9,8}} \Leftrightarrow T_{\min} = 1,557 \text{ s}$$

RETOMANDO A DEDUÇÃO DAS EQUAÇÕES 8 e 9, UTILIZAREMOS A EQUAÇÃO 8 PARA O CÁLCULO DA GRAVIDADE.

$$T_1 + T_2 = \frac{T_g^2}{4\pi^2}$$

$$0,43 + 0,245 = \frac{(1,54)^2 \cdot g}{4\pi^2}$$

$$\frac{0,675 \cdot 4\pi^2}{2,3716} = g \quad \rightarrow g = 11,23 \text{ m/s}^2$$

COMPARANDO-SE COM O VALOR DA GRAVIDADE DA TERRA $9,8 \text{ m/s}^2$, PODEMOS OBSERVAR UMA CERTA DISCREPÂNCIA TAMBÉM, E ASSIM COMO CITADO NA DISCUSSÃO DO PAIO DE GIRO, PODEMOS ATRIBUIR O ERRO AO EXPERIMENTADOR, PRINCIPALMENTE NOS τ s UTILIZADOS RETIRADOS DO GRÁFICO DE MANEIRA NÃO EXATA.

VAMOS CALCULAR TAMBÉM O MOMENTO DE INÉRCIA I_c DADO PELA EQUAÇÃO 5.

$$I = I_c + m \cdot R^2, \text{ SENDO } m \text{ A MASSA DA BARRA } 420 \text{ g}$$

$$I_c = 420 \text{ g} \cdot 0,1053 \text{ m} - I$$

$$I_c = 44,226 \text{ g} \cdot \text{m} - I$$

O RESULTADO TEMOS EM FUNÇÃO DE I QUE É O CÁLCULO DO MOMENTO DE INÉRCIA DA BARRA SEM OS FUROS.

CONCLUSÕES

PODEMOS PERCEBER NESSE EXPERIMENTO QUE OS DADOS OBTIDOS APESAR DE HAVER DISCREPÂNCIAS SÃO ACEITÁVEIS VISTO A SENSIBILIDADE DAS MEDIDAS E ERROS DO EXPERIMENTADOR.

O OBJETIVO QUE ERA ENTENDER O FUNCIONAMENTO DO PÊNDULO E OS CÁLCULOS E RACIOCÍNIOS QUE ENVOLVEM FOI Atingido.

Tabela 1 - Tabela de períodos do pêndulo composto.

NÚMERO DO FURO	d(cm)	r(cm)	t ₁ (s)	t ₂ (s)	t ₃ (s)	t ₄ (s)	t ₅ (s)	t _m (s)	T(s)
1	2,5	47,5	15,69	15,54	15,44	15,62	15,58	15,57	1,557
2	5,0	45,0	15,20	15,13	15,17	15,21	15,15	15,18	1,518
3	7,5	42,5	15,48	15,55	15,60	15,51	15,52	15,54	1,554
4	10,0	40,0	15,35	15,46	15,33	15,43	15,41	15,39	1,539
5	12,5	37,5	15,31	15,41	15,30	15,40	15,41	15,41	1,541
6	15,0	35,0	15,13	15,21	15,28	15,15	/	15,19	1,519
7	17,5	32,5	15,21	15,35	15,29	15,26	/	15,28	1,528
8	20,0	30,0	15,26	15,21	15,18	15,15	/	15,20	1,520
9	22,5	27,5	15,37	15,49	15,45	15,42	/	15,43	1,543
10	25,0	25,0	15,15	15,27	15,25	15,32	/	15,24	1,524
11	27,5	22,5	15,15	15,29	15,37	15,31	/	15,30	1,530
12	30,0	20,0	15,34	15,37	15,40	15,27	/	15,34	1,534
13	32,5	17,5	15,88	15,84	15,77	15,80	/	15,82	1,582
14	35,0	15,0	16,28	16,23	16,26	16,28	/	16,26	1,626
15	37,5	12,5	17,27	17,18	17,30	17,25	/	17,25	1,725
16	40,0	10,0	18,93	18,85	18,83	18,74	/	18,84	1,884
17	42,5	7,5	21,15	21,20	21,34	21,30	/	21,24	2,124
18	45,0	5,0	25,24	25,47	25,26	25,31	/	25,32	2,532
19	47,5	2,5	35,58	34,31	34,36	34,42	/	34,67	
20	50,0	0					/		

Gráfico 1

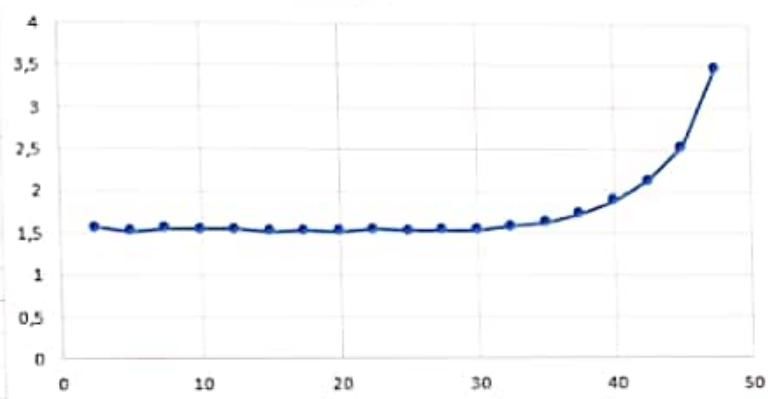
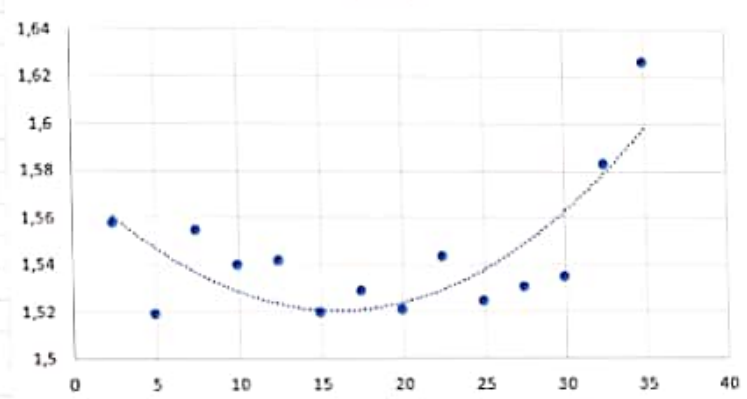


Gráfico 2



	T	g	R^2	R	
47.5	1,557	9,8	0,06022432679	0,2454064522	
45	1,518	9,8	0,05490821078	0,234325011	
42.5	1,554	9,8	0,0741502861	0,2723055014	
40	1,539	9,8	0,07518172418	0,2741928595	
37.5	1,541	9,8	0,08043129366	0,2836041143	
35	1,519	9,8	0,07797024958	0,279231534	
32.5	1,528	9,8	0,0827383512	0,2876427493	
30	1,52	9,8	0,08205796008	0,2864576061	
27.5	1,543	9,8	0,08690400811	0,2947948577	
25	1,524	9,8	0,08163726652	0,2857223592	
22.5	1,53	9,8	0,08012199578	0,2830582904	
20	1,524	9,8	0,07530981322	0,2744263348	
17.5	1,588	9,8	0,07892323477	0,280932794	
15	1,626	9,8	0,0759461373	0,2755832675	
12.5	1,725	9,8	0,07670749067	0,2769611718	
10	1,884	9,8	0,07811059539	0,2794827282	
7.5	2,124	9,8	0,07836674945	0,2799406177	
5	2,532	9,8	0,07707263615	0,2776195889	
2.5	3,467	9,8	0,07397074075	0,2719756253	