

Relatório do Experimento de Pêndulo Simples

Breno Pagotto Aguiar - nº USP: 11298553

Iago Santos Alves - nº USP: 11223701

Turma 1 - Grupo 1 - Diurno

Objetivos?
Método?
Resultados?

- Resumo do Experimento:

O pêndulo simples é um dispositivo que consiste numa massa presa a um fio inextensível e de massa desprezível. Esse conjunto oscila em torno de um ponto fixo e no plano bidimensional (direções “x” e “y”). Através desse dispositivo e de seu movimento, ocorre o estudo das grandezas que se encontram atuantes e notáveis. Dessa forma, este experimento busca analisar essas grandezas, bem como defini-las e estabelecer relações entre si.

- Introdução:

Dedução fórmula?

O objetivo desse experimento é avaliar e comparar grandezas provenientes da análise mecânica de um pêndulo simples. Para isso, serão analisados o período, o ângulo de lançamento, o comprimento do fio e a relação com o Movimento Harmônico Simples (MHS). Com elas, será possível determinar a aceleração da gravidade que o objeto está sujeito e também comparar os valores de tempo encontrados com o valor almejado através do “teste z”. Além disso, a avaliação estará mais completa por meio da formulação de gráficos cartesianos e o objetivo será alcançado.

- Descrição experimental:

Incerteza?

O experimento consiste na medição do período de oscilação de um pêndulo simples. Esse pêndulo é formado por um limão de pequena massa (120 g) e um fio cuja massa é muito menor que a do objeto. ~~o~~ aparato experimental foi reajustado devido a crise da epidemia, O fato da massa do fio ser menor que a do objeto influência que o centro de massa do conjunto: este coincide com o centro de massa do objeto. Esse ponto será a referência utilizada para medir os períodos de oscilação.

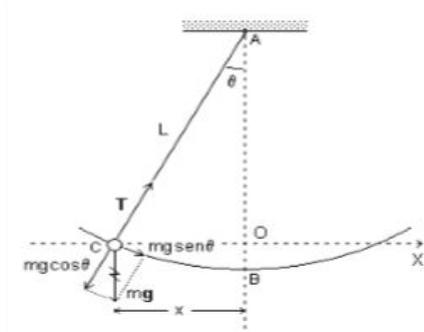
O movimento do pêndulo foi fornecido aos integrantes do grupo por meio de vídeos já gravados anteriormente, ou seja, a medição foi tomada com base nesses vídeos prontos. ~~Além disso,~~ os períodos foram anotados através de cronômetros digitais que podem ser encontrados em aparelhos smartphone.

Todo o experimento foi dividido em 3 situações.

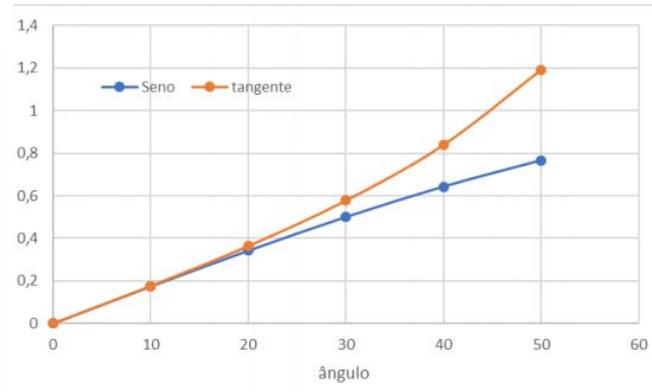
incertezas?

Inicialmente, foram tomados 6 períodos para 16 oscilações, isto é, foram feitas 6 medidas. Nessa questão, o comprimento do fio foi mantido (constante e igual a 60 cm), assim como o ângulo de lançamento (10°). Com isso, foi possível determinar o valor para uma única oscilação através da média dos 6 valores obtidos, bem como a gravidade terrestre através da fórmula apresentada e deduzida abaixo:

Pêndulo simples



para pequenos ângulos temos: MHS



$$\text{sen}\theta = \frac{x}{L} \approx \text{tan}\theta = \frac{F_r}{p}$$

$T \sin \theta \approx \frac{x}{L} \rightarrow F = -p \frac{x}{L} \rightarrow F = -\left(\frac{mg}{L}\right) x$
 $\left(\frac{mg}{L}\right) = k \rightarrow \text{constante}$
 $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$
 $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$

(Fórmulas utilizadas para calcular o período de um pêndulo, cuja amplitude é pequena e cujo atrito com o ar é desprezado)

Posteriormente, foram feitas e anotadas 6 medições para 16 oscilações, porém com 6 valores de comprimento diferentes. Ou seja, 6 medições para cada um dos 6 comprimentos, totalizando 36 valores. Para isso, foi mantido o valor do ângulo de lançamento ou abertura do fio em 10° . Assim, foi possível obter os valores de tempo para uma oscilação. Além disso, utilizando os valores da raiz quadrada para assim linearizar a função, cada um dos 6 comprimentos (raiz L) e de suas respectivas incertezas (inc raiz L), foi feito um gráfico relacionando ambas grandezas, o qual será apresentado ao decorrer do relatório.

incertezas?

incertezas?

Por fim, foram feitas 6 medições para 10 oscilações do pêndulo, porém desta vez com 6 diferentes valores do ângulo (6 medidas para cada valor de ângulo) e, mantendo o comprimento do fio constante e igual a 50 cm. Com isso, foi calculado os valores para uma única oscilação através dos valores médios. Esse valor final obtido foi comparado com o valor teórico do período para essa situação, o qual foi encontrado através da fórmula que relaciona o tempo com o comprimento e a gravidade:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

Logo, as 3 situações analisadas são: determinação da gravidade (primeira situação); dependência do período em função do comprimento (segunda situação) e dependência do período em função do ângulo inicial (terceira situação).

Para melhor compreensão, foram adotadas “siglas” e abreviações para todos os conceitos avaliados:

- “**T16**” representa um período para 16 oscilações;
- “**L**” e “**inc L**” referem-se ao comprimento e sua incerteza, respectivamente;
- “**ang0**” e “**inc ang0**” correspondem ao ângulo de lançamento do objeto e a sua incerteza, respectivamente;
- “**m**” como a massa do objeto (a massa do fio foi desconsiderada);
- “**T16 med**” e “**inc T16 med**” para o valor médio para as 6 medições realizadas com 16 oscilações e a sua incerteza, respectivamente;
- “**inc Tinst**” para a incerteza instrumental (relacionada ao período);
- “**incf**” para a incerteza final obtida;
- “**T1**” e “**inc T1**” para o valor do período para uma oscilação e sua incerteza, respectivamente;
- “**g**” e “**inc g**” para o valor da gravidade e a sua incerteza, respectivamente;
- “**Tteórico**” e “**inc Tteo**” correspondem ao valor teórico do período e sua incerteza, respectivamente.

- Arranjo experimental:

cuidados

Para o experimento, foi utilizado um objeto redondo (limão) que apresenta uma massa 120 g e um fio cuja massa é desprezada. A consequência de desprezar esse valor recai sobre a questão do centro de massa do conjunto, pois, nesse caso ele se encontra no centro de massa do próprio objeto e a fórmula matemática para calcular o período pode ser utilizada. Além disso, utilizou-se um transferidor para encontrar a amplitude desejada e um fundo vermelho para observar o movimento do pêndulo.

incertezas?

Porém, esse arranjo experimental foi formulado pelo professor responsável do grupo e foram fornecidas diversas gravações para as quais as medições foram feitas, logo, o grupo não obteve contato com os materiais utilizados.

- Resultados obtidos:

A seguir há tabelas relacionando todos os períodos obtidos das medições com suas situações:

Situação 1 (determinação de g):

ang0 (graus)	inc ang0 (graus)	L (cm)	inc L (cm)
10	1	60,00	0,07

T16(1) (s)	T16(2) (s)	T16(3) (s)	T16(4) (s)	T16(5) (s)	T16(6) (s)
24,69	24,72	24,69	24,69	24,66	24,71

inc T inst (s)	T16 med (s)	inc T16 med (s)	incf (s)	T1 (s)	inc T1 (s)
0,25	24,69	0,01	0,25	1,543	0,016

g (m/s ²)	inc g (m/s ²)	teste z
9,9	0,2	0,7856

O valor da incerteza do ângulo foi deduzido sendo igual a 1° devido à imprecisão ao realizar a abertura, bem como a imprecisão no lançamento (o pêndulo não foi solto com um valor exato, por isso precisamos adotar uma incerteza). Assim, essa incerteza corresponde à 10% do valor desejado, ou seja, 10% de 10°.

Já para o valor da incerteza do comprimento foi deduzido através da estimativa de um valor razoável, considerando a imprecisão na montagem do experimento. cm limão?

O valor da incerteza instrumental do período foi deduzida com base no conceito de que a incerteza no período equivale em um valor entre 0,15 s e 0,45 s e, como o tempo de reação humana para marcar o início e o término da contagem é um pouco rápido, foi adotado o valor de 0,25 s por ser um valor um pouco abaixo do intermediário.

tempo de reação
deveria aparecer no
erro estatístico

Além disso, o valor médio do período para 16 oscilações (T16 med) foi calculado fazendo a média dos 6 tempos medidos: soma de todos e divisão desse resultado por 6. Com isso, calculou-se a incerteza da média: é à razão entre o desvio padrão das 6 medições e a raiz do número 6 (por serem 6 medições). Esse valor da incerteza da média corresponde à incerteza estatística. Por fim, obteve-se o valor do período para uma oscilação através da divisão do valor médio de 16 oscilações pelo número 16 (T1 = T16 med / 16).

Com as incertezas instrumental e estatística, foi possível calcular a incerteza final, a qual deu-se por meio da raiz quadrada da soma dos quadrados, isto é, $\text{incf} = \text{raiz}((\text{inc Tinst})^2 + (\text{inc T16 med})^2)$. Por fim, tendo a incerteza final, calculou-se a incerteza de T1: $\text{inc T1} = \text{incf} / 16$ (a divisão pelo número 16 decorreu de haverem 16 oscilações).

Como já dito, a gravidade foi obtida utilizando a fórmula para o período. Já a sua incerteza foi obtida através da propagação de incertezas. Logo, a fórmula final encontra-se abaixo:

Handwritten mathematical derivation for the propagation of uncertainty in the calculation of gravity (g) from the period (T) of a simple pendulum. The derivation starts with the formula for the period $T = 2\pi\sqrt{L/g}$ and proceeds to calculate the relative uncertainty in g based on the relative uncertainty in T. The final formula for g is given as $g = \sqrt{\frac{6L^2}{T^4 \left(1 + 4\left(\frac{\Delta T}{T}\right)^2\right)}}$.

O “teste Z” realizado foi utilizado para a comparação de compatibilidade entre o valor da gravidade (g) e sua incerteza (inc g) experimental e o valor conhecido pelo instituto do IAG (Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo):

$$g = 9,78641 \pm 0,00001 \text{ m/s}^2$$

discussão

Situação 2 (dependência do período com comprimento):

Nessa situação, o ângulo de abertura foi mantido o mesmo para todos os comprimentos do fio ($\text{ang}0 = 10^\circ \pm 1^\circ$).

Utilizou-se a raiz de L para linearizar a função, obtendo assim uma equação de reta teórica esperada por essa ser considerada a melhor precisão de g.

$g = 9,78641 \pm 0,00001$ unidade

$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$
 $2\pi = a = 6,28318$
 $T = a\sqrt{L}$
 $y = a \cdot x \rightarrow y = 6,28318 \cdot x$

incertezas de l e ang são iguais às anteriores?

A seguir seguem os resultados obtidos para a situação:

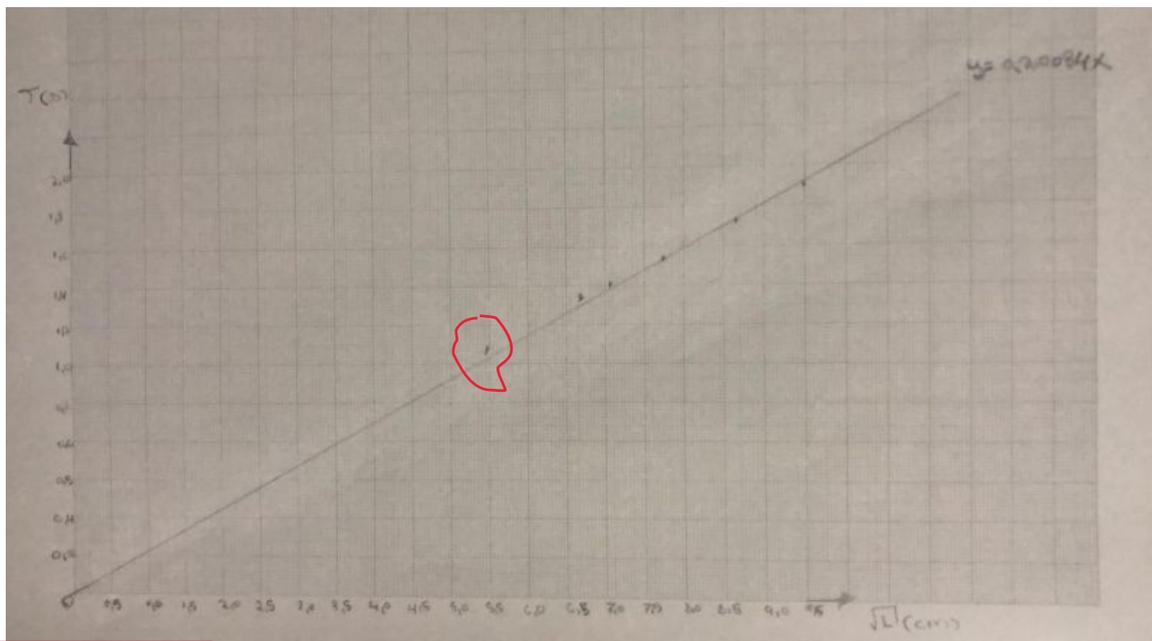
L (cm)	inc L (cm)	T16(1) (s)	T16(2) (s)	T16(3) (s)	T16(4) (s)	T16(5) (s)	T16(6) (s)
30,00	0,07	17,44	17,26	17,16	17,29	17,36	17,34
45,00	0,07	21,70	21,35	21,40	21,55	21,52	21,59
50,00	0,07	22,65	22,59	22,57	22,47	22,35	22,50
60,00	0,07	24,59	24,78	24,65	24,62	24,65	24,71
75,00	0,07	27,79	27,66	27,71	27,72	27,67	27,67
90,00	0,07	30,47	30,21	30,51	30,66	30,51	30,47

L (cm)	T16 med (s)	inc T16 med (s)	incf (s)	T1 (s)	inc T1 (s)	raiz L (cm)	inc raiz L (cm)
30,00	17,31	0,04	0,25	1,082	0,016	5,477	0,006
45,00	21,52	0,05	0,26	1,345	0,016	6,708	0,005
50,00	22,52	0,04	0,25	1,408	0,016	7,701	0,005
60,00	24,67	0,03	0,25	1,542	0,016	7,746	0,005
75,00	27,70	0,02	0,25	1,731	0,016	8,660	0,004
90,00	30,47	0,06	0,26	1,904	0,016	9,487	0,004

As incertezas para os valores de “raiz de L” foram encontradas através do princípio de propagação de incertezas, como segue abaixo:

The image shows handwritten mathematical work on lined paper. It starts with the equation $T = 2\pi\sqrt{L}$. To the right, the absolute error is calculated as $|\Delta T| = \left| \frac{dT}{dL} \cdot \Delta L \right| = \left| \frac{1}{\sqrt{L}} \cdot \Delta L \right|$. Below this, the relative error is given as $\frac{\Delta T}{T} = \frac{\Delta L}{2L}$.

A seguir está o gráfico que relaciona a raiz de L com o período T:



forçou passar pelo zero?

Os pontos experimentais, bem como suas incertezas, foram inseridas no gráfico, e com os pontos obtidos é possível obter uma função experimental. Usando o método dos mínimos quadrados (MMQ) conseguimos achar os melhores parâmetros para os coeficiente angular e linear da reta (**a** e **b**, respectivamente).

ajuste manual?

Tabela MMQ (raiz de L):

X	σX	Y	σY	$XY/(\sigma Y)^2$	$(X/\sigma y)^2$	$X/(\sigma y)^2$	$Y/(\sigma y)^2$	$1/(\sigma y)^2$	a	b
5,477	0,006	1,082	0,016	23148,88281	117177,8477	21394,53125	4226,5625	3906,25	0,204	-0,031
6,708	0,005	1,345	0,016	35243,20313	175770,5625	26203,125	5253,90625	3906,25	σ_a	σ_b
7,071	0,005	1,408	0,016	38890,5	195308,7539	27621,09375	5500	3906,25	0,005	0,038
7,746	0,005	1,542	0,016	46657,54688	234377,0156	30257,8125	6023,4375	3906,25		
8,660	0,004	1,731	0,016	58556,48438	292951,5625	33828,125	6761,71875	3906,25		
9,487	0,004	1,904	0,016	70559,5625	351574,8789	37058,59375	7437,5	3906,25		
				S_{xy}	S_{x^2}	S_x	S_y	S_t		
				273056,1797	1367160,621	176363,2813	35203,125	23437,5		

X		Y	σ	$XY/(\sigma Y)^2$	$(X/\sigma y)^2$	$X/(\sigma y)^2$	$Y/(\sigma y)^2$	$1/(\sigma y)^2$	a	b
5,477		1,082	0,01604660176	23014,62234	116498,2316	21270,44578	4202,048994	3883,594264	0,204	-0,031
6,708		1,345	0,0160323767	35101,00255	175061,357	26097,39967	5232,707595	3890,488918	σ_a	σ_b
7,071		1,408	0,0160323767	38733,58318	194520,7149	27509,64714	5477,808397	3890,488918	0,005	0,038
7,746		1,542	0,0160323767	46469,29128	233431,3426	30135,72716	5999,133912	3890,488918		
8,660		1,731	0,01602072863	58405,05426	292193,9745	33740,64371	6744,232594	3896,148235		
9,487		1,904	0,01602072863	70377,09181	350665,688	36962,7583	7418,266239	3896,148235		
				S_{xy}	S_{x^2}	S_x	S_y	S_t		
				272100,6454	1362371,309	175716,6218	35074,19773	23347,35749		

Com isso, foi possível descobrir os melhores parâmetros para a equação experimental e, assim, testou-se a coerência com os valores esperados, sendo que a equação teórica tem início na origem do sistema e contém o coeficiente angular $a = 2\pi / \text{raiz de } g$.

Dessa forma, o valor obtido para a foi de 0,2008483023 e para g foi de 978,722 $\text{cm/s}^2 = 9,7822 \text{ m/s}^2$.

Esse resultado foi comparado com o valor da aceleração da gravidade fornecido pelo IAG-USP ($g=9,78641 \pm 0,00001$) m/s^2 . Logo, foi possível perceber que os valores encontrados com suas incertezas englobam os valores esperados.

Checando os ajustes:

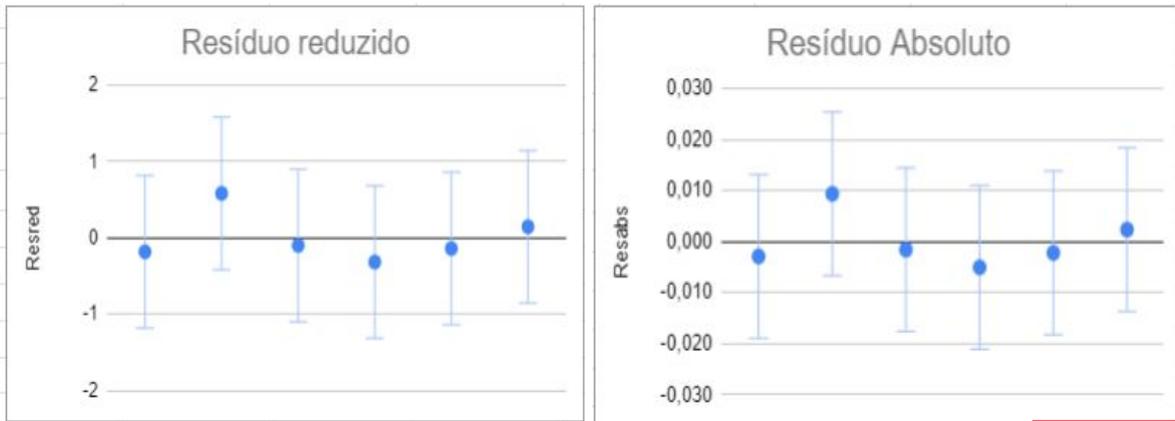
Os resíduos têm por função verificar a distância dos pontos experimentais à reta ajustada, e com isso determinar se existe pontos experimentais “errados”, isto é, fora de três sigmas de compatibilidade.

Resíduos:

Y	inc Y	raiz L	inc raiz L	F(x)	Res _{abs}	inc Ra	Res _{red}	inc Resred
1,082	0,016	5,477	0,006	1,085	-0,003	0,01604660176	-0,181004152	1
1,345	0,016	6,708	0,005	1,336	0,009	0,0160323767	0,584426354	1
1,408	0,016	7,071	0,005	1,410	-0,002	0,0160323767	-0,09760381745	1
1,542	0,016	7,746	0,005	1,547	-0,005	0,0160323767	-0,3147661579	1
1,731	0,016	8,66	0,004	1,733	-0,002	0,01602072863	-0,1377439449	1
1,904	0,016	9,487	0,004	1,902	0,002	0,01602072863	0,1468589403	1

Absoluto: $\text{Res}_{\text{abs}} = (Y_i - F(x_i))$

Reduzido: $\text{Res}_{\text{red}} = (Y_i - F(x_i)) / \text{inc Ra}$



legenda x

Para melhor compreensão, foram relacionados os termos com seus significados:

- $Y = T1$ (período para uma oscilação);
- $\text{inc } Y = \text{inc } T1$ (incerteza para o período de uma oscilação);
- $F(x)$ (função ajustada);
- Res_{sabs} (resíduo absoluto);
- Res_{red} (resíduo reduzido);
- $\text{inc } R_a$ (incerteza de raiz de L rebatida na incerteza do período);
- $\text{inc } \text{Res}_{\text{red}}$ (incerteza do resíduo reduzido).

Situação 3 (dependência do período com o ângulo inicial):

Nessa situação, o comprimento do fio foi mantido constante e igual à 50 cm e o ângulo foi variado. para assim testar a dependência do período em função do ângulo inicial.

incertezas de l e ang são iguais às anteriores?

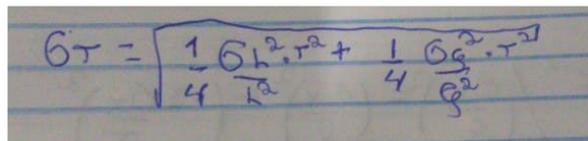
ang0 (°)	inc ang0 (°)	T10(1) (s)	T10(2) (s)	T10(3) (s)	T10(4) (s)	T10(5) (s)	T10(6) (s)
5	1	13,97	13,97	14,03	13,97	14,22	14,03
10	1	13,97	13,96	14,09	13,96	14,10	13,96
15	1	14,04	13,90	14,02	13,97	13,95	14,12
20	1	13,96	14,10	14,06	14,07	14,05	14,01
30	1	14,33	14,33	14,33	14,28	14,31	14,35
45	1	14,61	14,47	14,48	14,43	14,43	14,43

ang0 (°)	T10 med (s)	inc T10 med (s)	incf (s)	T1 (s)	inc T1 (s)	Tteórico (s)	inc Tteo (s)	teste z
5	14,03	0,04	0,25	1,403	0,025	1,420	0,001	0,6791
10	14,01	0,03	0,25	1,401	0,025	1,420	0,001	0,7763
15	14,00	0,03	0,25	1,400	0,025	1,420	0,001	0,8015
20	14,04	0,02	0,25	1,404	0,025	1,420	0,001	0,6392
30	14,32	0,01	0,25	1,432	0,025	1,420	0,001	0,4774
45	14,48	0,03	0,25	1,448	0,025	1,420	0,001	1,0837

O período teórico foi calculado através da fórmula teórica a seguir, já mostrava anteriormente e utilizamos o valor da gravidade disponibilizado pelo IAG:

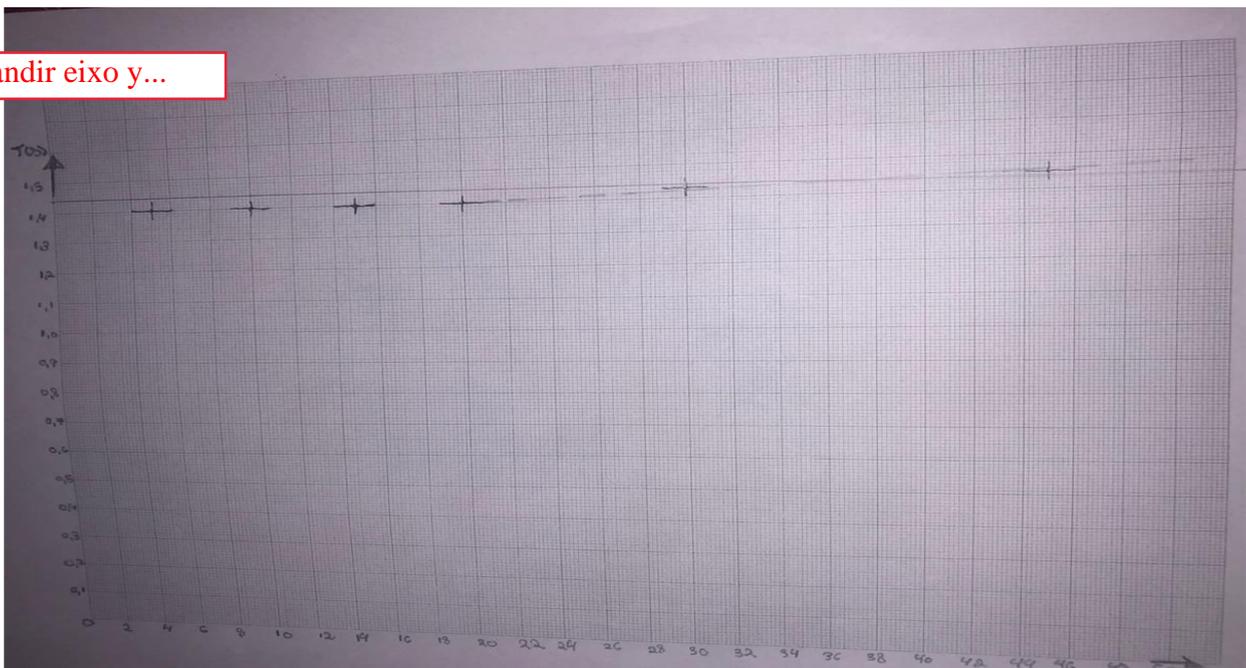
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

A sua incerteza foi deduzida por meio do princípio de propagação de incertezas e é dado com a fórmula a seguir:


$$\Delta T = \sqrt{\frac{1}{4} \frac{\Delta \ell^2}{\ell^2} + \frac{1}{4} \frac{\Delta g^2}{g^2}}$$

A seguir está o gráfico que relaciona o ângulo de lançamento (θ_0) com o período (T):

expandir eixo y...



Através da análise do gráfico, notou-se que todos os pontos com suas incertezas se encontram dentro da função esperada. Porém, os pontos com maiores ângulos se diferenciam dos demais. Fato esse que se deu pois a igualdade presente na equação para pêndulos simples é válida apenas para pequenos ângulos de abertura e para eventos em que o atrito com o ar é desprezado (no experimento realizado, ocorre o atrito com o ar, logo, o evento não é ideal).

Tabela MMQ (teta):

X	σX	Y	σY	$XY/(\sigma Y)^2$	$(X/\sigma y)^2$	$X/(\sigma y)^2$	$Y/(\sigma y)^2$	$1/(\sigma y)^2$	a	b
5,000	1	1,403	0,025	11224	40000	8000	2244,8	1600	0,0013	1,3876
10,000	1	1,401	0,025	22416	160000	16000	2241,6	1600	σ_a	σ_b
15,000	1	1,4	0,025	33600	360000	24000	2240	1600	0,0008	0,0189
20,000	1	1,404	0,025	44928	640000	32000	2246,4	1600		
30,000	1	1,432	0,025	68736	1440000	48000	2291,2	1600		
45,000	1	1,448	0,025	104256	3240000	72000	2316,8	1600		
				S_{xy}	S_x^2	S_x	S_y	S_t		
				285160	5880000	200000	13580,8	9600		

X		Y	σ	$XY/(\sigma Y)^2$	$(X/\sigma y)^2$	$X/(\sigma y)^2$	$Y/(\sigma y)^2$	$1/(\sigma y)^2$	a	b
5,000		1,403	0,02503375698	11193,75022	39892,19606	7978,439213	2238,750043	1595,687843	0,0013	1,3876
10,000		1,401	0,02503375698	22355,58667	159568,7843	15956,87843	2235,558667	1595,687843	σ_a	σ_b
15,000		1,4	0,02503375698	33509,44469	359029,7646	23935,31764	2233,96298	1595,687843	0,0008	0,0189
20,000		1,404	0,02503375698	44806,91462	638275,137	31913,75685	2240,345731	1595,687843		
30,000		1,432	0,02503375698	68550,74972	1436119,058	47870,63528	2285,024991	1595,687843		
45,000		1,448	0,02503375698	103975,0198	3231267,881	71805,95292	2310,555996	1595,687843		
				S_{xy}	S_x^2	S_x	S_y	S_t		
				284391,4657	5864152,822	199460,9803	13544,19841	9574,127056		

O MMQ foi utilizado para que, com os valores experimentais fosse possível encontrar os melhores parâmetros para uma equação da função ajustada.

A função esperada apresenta uma reta constante, o que se assemelha bastante com a função ajustada que contém uma inclinação pequena e um ponto inicial próximo.

Checando os ajustes:

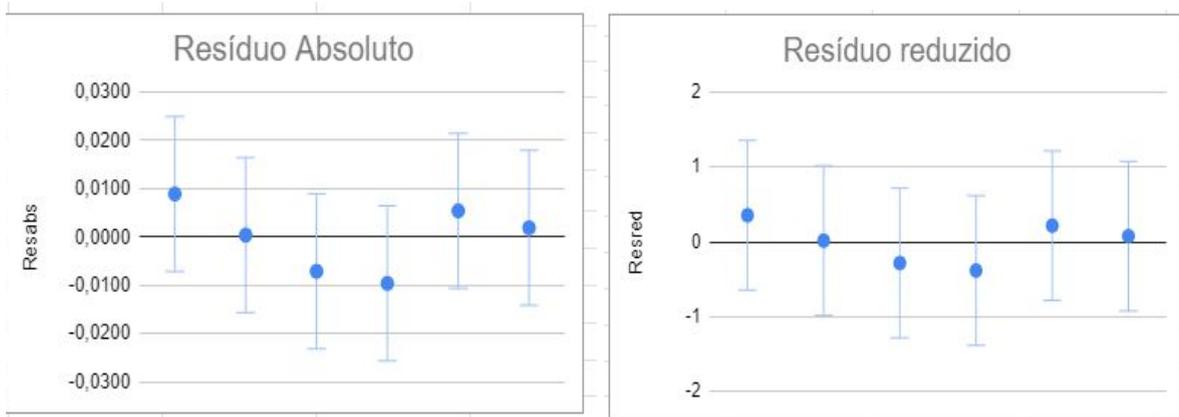
Os resíduos tiveram por função verificar a distância dos pontos experimentais à reta ajustada e, com isso, determinar se existem pontos experimentais “errados”, isto é, fora de três sigmas de compatibilidade.

Resíduos:

Y	inc Y	Teta	inc Teta	F(x)	Res _{abs}	inc Ra	Res _{red}	inc Resred
1,403	0,025	5,000	1	1,3941	0,0089	0,02503375698	0,3559396156	1
1,401	0,025	10,000	1	1,4006	0,0004	0,02503375698	0,01647580754	1
1,4	0,025	15,000	1	1,4071	-0,0071	0,02503375698	-0,2830419389	1
1,404	0,025	20,000	1	1,4136	-0,0096	0,02503375698	-0,382829377	1
1,432	0,025	30,000	1	1,4266	0,0054	0,02503375698	0,2165169802	1
1,448	0,025	45,000	1	1,4461	0,0019	0,02503375698	0,07693891255	1

Absoluto: $Res_{abs} = (Y_i - F(x_i))$

Reduzido: $Res_{red} = (Y_i - F(x_i)) / inc Ra$



- Discussões e conclusões:

De acordo com a situação 1 apresentada no relatório, o valor obtido para a aceleração da gravidade é compatível com o valor almejado (fornecido pelo IAG-USP). Ambos são compatíveis em 1 sigma, devido ao teste z realizado resultar em um número menor do que 1. A aceleração do experimento foi de $g=(9,9 \pm 0,2)$ m/s², enquanto que o IAG-USP forneceu $g=(9,78641 \pm 0,00001)$ m/s². Logo, o teste z resultou em 0,7856.

Quando comparados os resultados da situação 1 com o da situação 2, também pode-se notar uma proximidade entre ambos. Na situação 2, foi analisada a relação do período com o comprimento do fio e, através do gráfico de T vs raiz L foi possível obter o valor do coeficiente angular da reta aproximada e, com esse valor, obteve-se a aceleração da gravidade: $g=9,7822$ m/s², enquanto que na situação 1, a aceleração obtida foi de $g=(9,9 \pm 0,2)$ m/s². incerteza, Z

Através da dependência do período com o comprimento, pode-se concluir que a fórmula utilizada para eventos com pequenos ângulos e cujo atrito com o ar é desprezado é adequada ao experimento. Isso também é possível devido à compatibilidade entre os resultados obtidos, tanto numéricos quanto gráficos.

Além disso, o fato de terem sido realizadas várias medições para os períodos foi essencial no aumento da precisão dos resultados, uma vez que quanto mais medições são feitas maior é a precisão.

Pela relação do pêndulo com o Movimento Harmônico Simples (MHS), foi possível concluir que a aproximação feita do seno e da tangente de um ângulo só é válida para ângulos de até 30° aproximadamente: a partir desse ponto, ocorre uma diferença notável para o seno e a tangente.

experimento permite afirmar?

A equação do período pode ser efetuada para ângulos até 10° por meio da alta proximidade dos valores de seno e tangente. Porém, para valores até cerca de 30° , pode ser induzida a igualdade entre as funções trigonométricas e, assim, o uso da equação se estende.

Logo, o experimento do pêndulo simples é coerente para a obtenção da aceleração da gravidade terrestre. Nele, também foi possível analisar as grandezas envolvidas no movimento oscilatório.