



Universidade de Brasília  
Instituto de Física  
Física 2 Experimental

**Relatório 03:**  
Movimentação do Giroscópio

Turma 12  
Grupo: 10

|   |                |
|---|----------------|
| Eduardo Kachel                                    | Mat:24/1009780 |
| Francisco Ribeiro de Souza Campos                 | Mat:22/2014590 |
| Luís Eduardo Dalle Molle Bacelar Carvalho Santana | Mat:24/1034059 |

Professora:  
Letícia Gonçalves Nunes Coelho

14 de maio de 2025

## 1 Objetivos

Compreensão dos efeitos do momento angular e da visualização das direções das grandezas vetoriais envolvidas.

## 2 Materiais

1. Giroscópio PASCO modelo ME-8960;
2. Dois discos de rotação;- Dois contrapesos de 900 g;
3. Um contrapeso de 30 g;
4. Uma massa adicional de 150 g;
5. Um motor elétrico para aceleração do disco;
6. Um temporizador / Um contador para medida do período do disco;
7. Um cronômetro digital;
8. Um conjunto com nove setas indicativas das grandezas vetoriais;
9. Uma régua de 1 m de comprimento;
10. Excel.

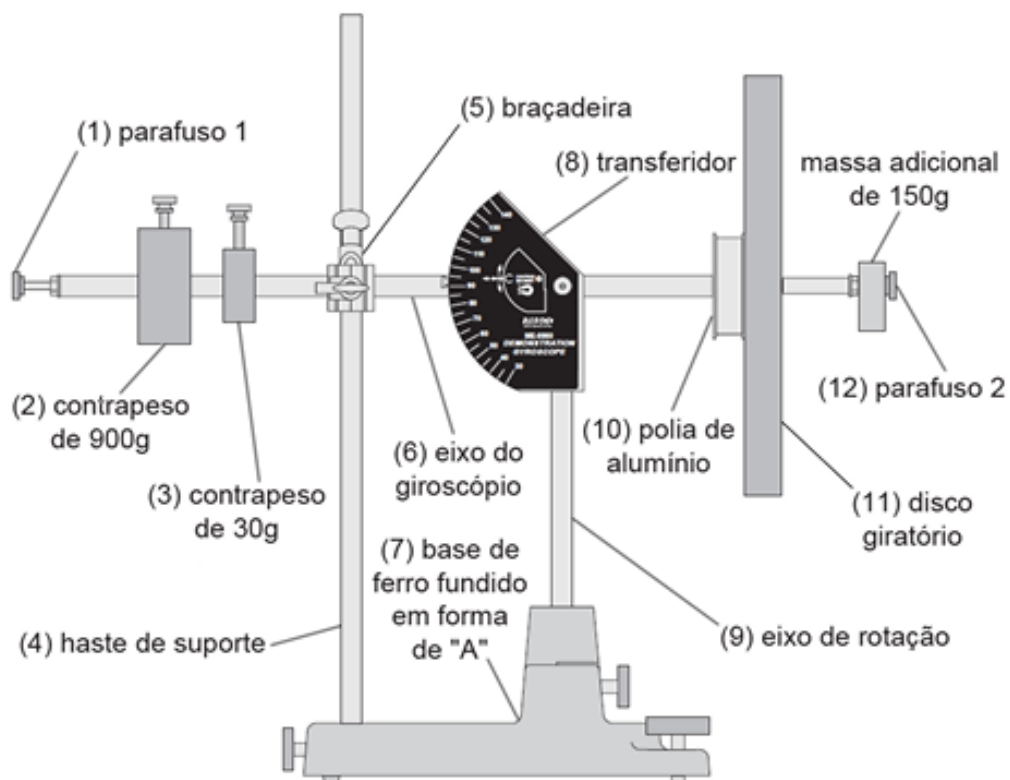


Figura 1: O giroscópio PASCO ME-8960 e seus componentes [IF-UnB]

### 3 Introdução

O experimento realizado teve como objetivo analisar o comportamento dinâmico de um giroscópio, explorando sua movimentação e os princípios físicos envolvidos, como o momento angular, precessão e conservação da energia mecânica. Por isso, foi investigado como essas propriedades emergem a partir da interação entre momento angular e torque, utilizando dois métodos para determinar o momento de inércia do sistema.

Para compreender essas características, começamos pela definição do momento angular ( $L$ ), uma grandeza vetorial que descreve a rotação de um corpo e é expressa por:

$$L = I\omega \quad (1)$$

onde  $I$  representa o momento de inércia do corpo em relação ao eixo de rotação e  $\omega$  é a velocidade angular. A conservação do momento angular determina que, na ausência de torques externos, o valor de  $L$  permanece constante, garantindo a estabilidade da rotação do giroscópio [Resnick e Halliday 2002].

Quando um torque externo é aplicado ao sistema, ele influencia a variação do momento angular de acordo com:

$$\frac{dL}{dt} = \tau \quad (2)$$

onde  $\tau$  é o torque. Esse princípio explica o fenômeno da precessão, no qual a orientação do eixo de rotação do giroscópio se altera ao longo do tempo sem mudança na intensidade de sua velocidade angular [Resnick e Halliday 2002]. Para um giroscópio submetido ao peso adicional  $m$  em uma extremidade, a velocidade angular de precessão ( $\Omega$ ) é dada por:

$$\Omega = \frac{mgl}{L} \quad (3)$$

sendo  $g$  a aceleração gravitacional e  $l$  a distância entre o ponto de apoio e o local onde o peso é aplicado. Este efeito será analisado na parte quantitativa do experimento.

Além da precessão, o experimento também permitiu determinar o momento de inércia do giroscópio por meio da conservação da energia mecânica. Quando um peso  $m$  é suspenso e liberado de uma altura  $h$ , sua energia potencial gravitacional é convertida em energia cinética de rotação e translação [Resnick e Halliday 2002], conforme a equação:

$$mgh = \frac{1}{2}I\omega^2 + \frac{1}{2}mv^2 \quad (4)$$

Com  $v$  relacionado à velocidade angular por  $v = r\omega$ , podemos reescrever a expressão como:

$$I = \frac{mgh}{\frac{1}{2}\omega^2 + \frac{1}{2}mr^2\omega^2} \quad (5)$$

Além disso, utilizando a velocidade angular de precessão, a determinação do momento de inércia pode ser feita através da equação:

$$\frac{1}{T_x T_p} = \frac{mgl}{I} \quad (6)$$

onde  $T_x$  é o período de rotação do disco e  $T_p$  é o período da precessão.

Por meio destes conceitos e equações, este experimento forneceu uma compreensão aprofundada dos princípios físicos que regem o movimento de um giroscópio, permitindo não apenas a observação qualitativa de seus efeitos, mas também a verificação quantitativa de suas propriedades fundamentais.

## 4 Procedimentos

### 4.1 Análise Qualitativa do Movimento do Giroscópio

A parte qualitativa do experimento teve como objetivo proporcionar uma interação direta com as grandezas vetoriais envolvidas no movimento do giroscópio, permitindo a visualização prática dos conceitos físicos.

Inicialmente, foi realizada a análise das forças estáticas, onde o giroscópio foi equilibrado ao ajustar os contrapesos, garantindo que permanecesse imóvel ao soltar suas travas. A seguir, foram examinados os efeitos dos torques, primeiramente aplicando uma massa adicional ao sistema e, posteriormente, observando a resposta do giroscópio ao ser girado em torno de seu eixo vertical. As direções dos vetores torque e aceleração angular foram identificadas e registradas.

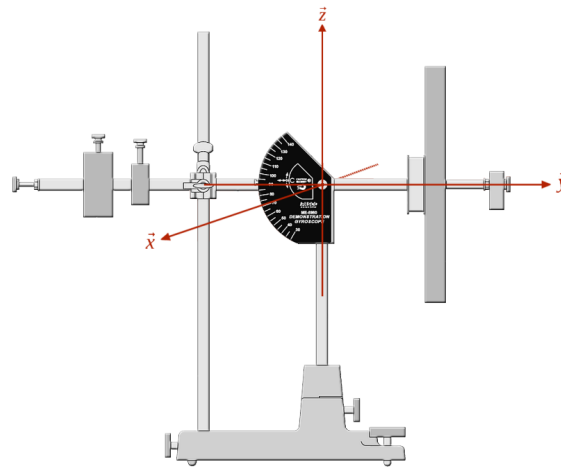


Figura 2: Ilustração dos Eixos do Giroscópio [IF-UnB]

Após essas observações iniciais, foi investigado o momento angular, acelerando o disco do giroscópio com o motor elétrico e afixando os vetores representativos. Em seguida, foram analisadas as reações do giroscópio quando submetido a torques externos, permitindo verificar que a direção do momento angular variava conforme o torque aplicado.

Por fim, foram examinados os movimentos de precessão e nutação. O sentido da velocidade de precessão foi verificado ao colocar a massa adicional em diferentes posições, e a influência da velocidade de rotação e do ângulo inicial sobre o movimento de nutação foi estudada, com as observações devidamente registradas.

### 4.2 Análise Quantitativa do Movimento do Giroscópio

Na parte quantitativa do experimento, o momento de inércia do giroscópio foi determinado por meio da conservação da energia mecânica e pela velocidade angular de precessão. Todas as medições ocorreram conforme o planejado, sem anormalidades que pudessem comprometer os resultados.

No primeiro método, a determinação do momento de inércia foi realizada utilizando a equação da energia mecânica, considerando a aceleração do disco causada pela queda de um peso. O período de rotação do disco foi medido para diferentes alturas do peso, e os dados obtidos foram representados em um gráfico de  $T \times h$ , diferentemente do previsto no roteiro original, que sugeria a relação  $1/T^2 \times h$ . Essa escolha permitiu uma análise direta da dependência entre o período de rotação do disco e a altura do peso, sendo possível observar a tendência dos dados e realizar uma regressão linear apropriada para a obtenção do momento de inércia.

No segundo método, a determinação do momento de inércia foi feita por meio da velocidade angular de precessão. Para isso, foram registradas as medidas do período do disco e do período

de precessão para diferentes massas aplicadas ao sistema. Os dados experimentais foram analisados considerando a relação entre o torque aplicado e a resposta dinâmica do giroscópio, garantindo a coerência dos resultados obtidos.

## 5 Análise de Dados

### 5.1 Análise Qualitativa

A parte qualitativa do experimento focou na observação dos efeitos físicos diretamente associados ao momento angular e à resposta do giroscópio aos torques externos. Os dados de giro do disco foram organizados em tabelas que sistematizaram as direções e sentidos dos vetores de torque e momento angular para diferentes condições de giro do disco, conforme é apresentado nas tabelas 1 e 2.

| Giro do disco no sentido anti-horário                          |                 |                            |   |
|--|-----------------|----------------------------|---|
| Força aplicada na extremidade (1)                              | Torque aplicado | Reação na extremidade (12) | Movimento da extremidade do vetor momento angular |
| $+\vec{x}$   | $+\vec{z}$      | $+\vec{z}$                 | $+\vec{z}$  |
| $-\vec{x}$   | $-\vec{z}$      | $-\vec{z}$                 | $-\vec{z}$  |
| $+\vec{z}$   | $-\vec{x}$      | $-\vec{z}$                 | $-\vec{x}$  |
| $-\vec{z}$   | $+\vec{x}$      | $+\vec{z}$                 | $+\vec{x}$  |
| Gire o suporte central no sentido horário (visto de cima)      | $-\vec{z}$      | $-\vec{z}$                 | $-\vec{z}$  |
| Gire o suporte central no sentido anti-horário (visto de cima) | $+\vec{z}$      | $+\vec{z}$                 | $+\vec{z}$  |

Tabela 1: Tabela de análise qualitativa no sentido anti-horário

| Giro do disco no sentido horário                               |                             |                            |   |
|--|-----------------------------|----------------------------|---|
| Força aplicada na extremidade (1)                              | Direção e sentido do torque | Reação na extremidade (12) | Movimento da extremidade do vetor momento angular |
| $+\vec{x}$   | $+\vec{z}$                  | $-\vec{z}$                 | $+\vec{z}$  |
| $-\vec{x}$   | $-\vec{z}$                  | $+\vec{z}$                 | $-\vec{z}$  |
| $+\vec{z}$   | $-\vec{x}$                  | $-\vec{z}$                 | $-\vec{x}$  |
| $-\vec{z}$   | $+\vec{x}$                  | $+\vec{z}$                 | $+\vec{x}$  |
| Gire o suporte central no sentido horário (visto de cima)      | $-\vec{z}$                  | $+\vec{z}$                 | $-\vec{z}$  |
| Gire o suporte central no sentido anti-horário (visto de cima) | $+\vec{z}$                  | $-\vec{z}$                 | $+\vec{z}$  |

Tabela 2: Tabela de análise qualitativa no sentido horário

Adicionalmente, foi registrada a direção e sentido da velocidade angular de precessão, demonstrando a relação entre o torque aplicado e a resposta do sistema.

| Velocidade Angular de Precessão |             |              |
|---------------------------------|-------------|--------------|
|                                 | Peso no (1) | Peso no (12) |
| Disco Sentido Horário           | $+\vec{z}$  | $-\vec{z}$   |
| Disco Sentido Anti-Horário      | $-\vec{z}$  | $+\vec{z}$   |

Tabela 3: Tabela Direção e Sentido da Velocidade Angular de Precessão

O movimento de nutação também foi analisado, permitindo a verificação das diferentes configurações possíveis, segundo a figura 3, e suas dependências em relação à velocidade angular de rotação. A comparação entre os registros obtidos e as previsões teóricas mostrou uma correspondência direta, reforçando a consistência dos conceitos físicos explorados.

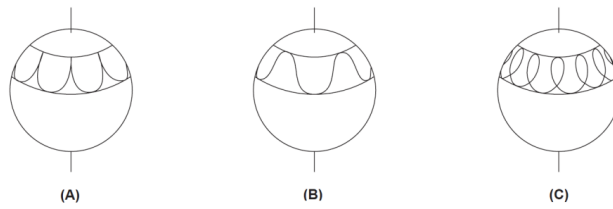


Figura 3: Movimentos de nutação [IF-UnB]

| Nutação                           |  |  |
|-----------------------------------|--|--|
| Força aplicada na extremidade (1) | Soltando a 30° na mesma direção da precessão | Soltando a 30° na direção oposta à precessão |
| A                                 | B  | C  |

Tabela 4: Tabela da Indicação de Nutação

Fotografias ilustrativas foram incluídas para documentar os posicionamentos dos vetores e validar visualmente as observações feitas.

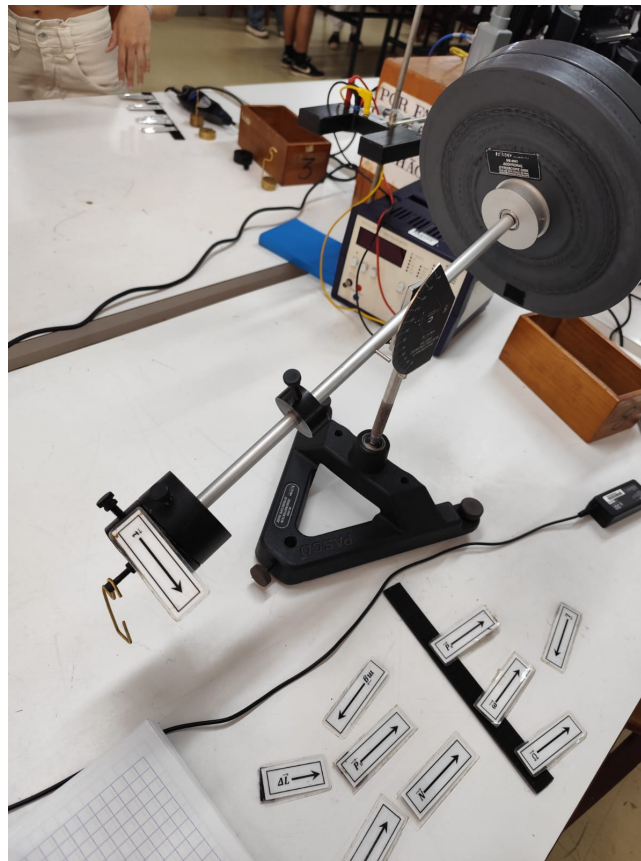


Figura 4: 4.1.1

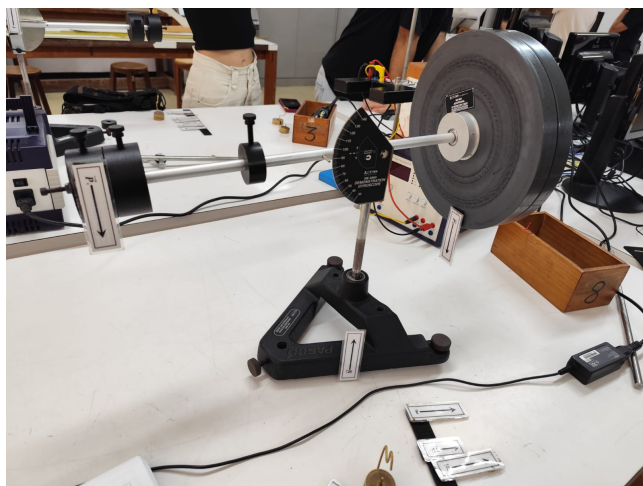


Figura 5: 4.1.1



Figura 6: 4.1.2

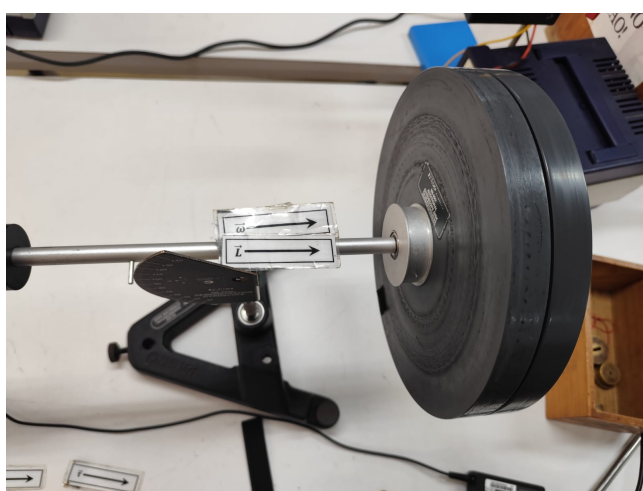


Figura 7: 4.1.3

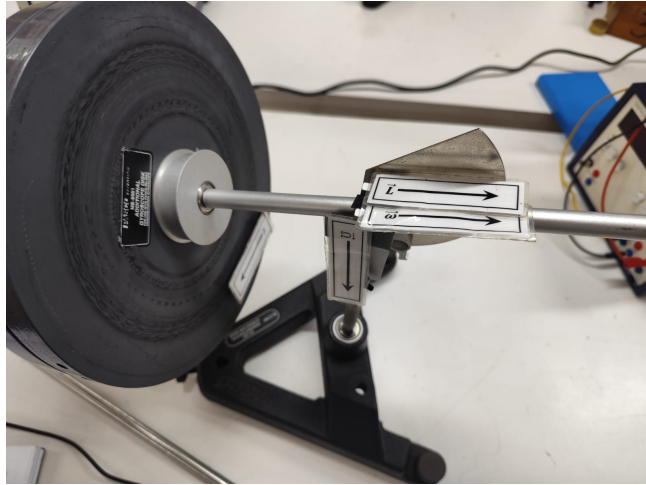


Figura 8: 4.1.5



Figura 9: 4.1.5

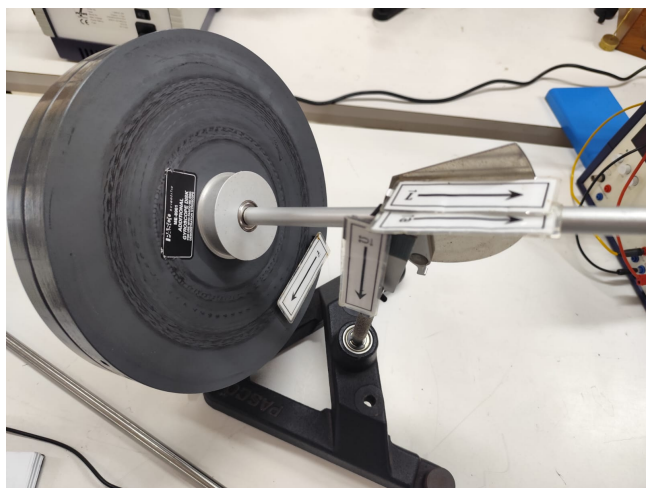


Figura 10: 4.1.5



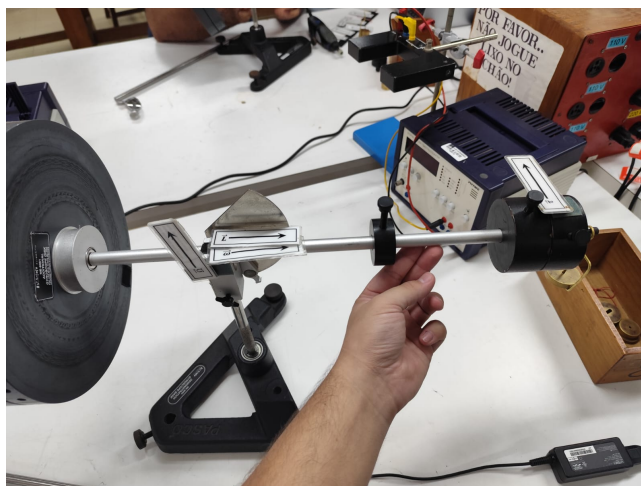


Figura 11: 4.1.5

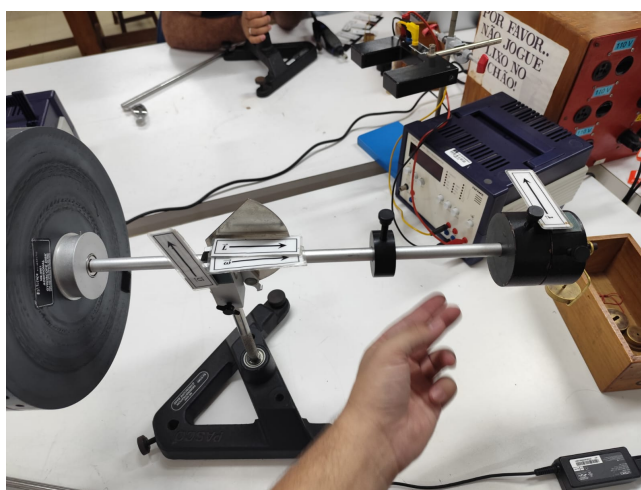


Figura 12: 4.1.5

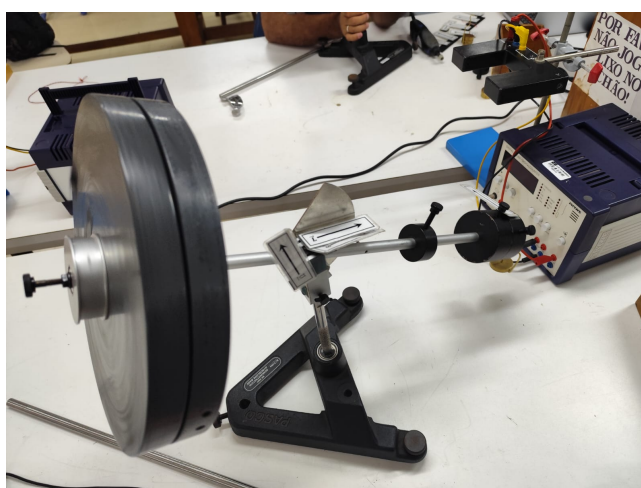


Figura 13: 4.1.5

## 5.2 Análise Quantitativa

Na análise quantitativa, foram apresentados dois gráficos que sintetizaram os dados obtidos. O primeiro gráfico representou a variação do período de rotação do disco ( $T$ ) em função da

altura ( $h$ ) do peso liberado, conforme mostrado na figura 14. Os pontos experimentais indicaram um comportamento previsível, com uma dependência clara entre as variáveis, confirmando a conversão da energia potencial em energia cinética de rotação. O ajuste matemático dos dados apresentou uma boa correlação com os modelos teóricos esperados.

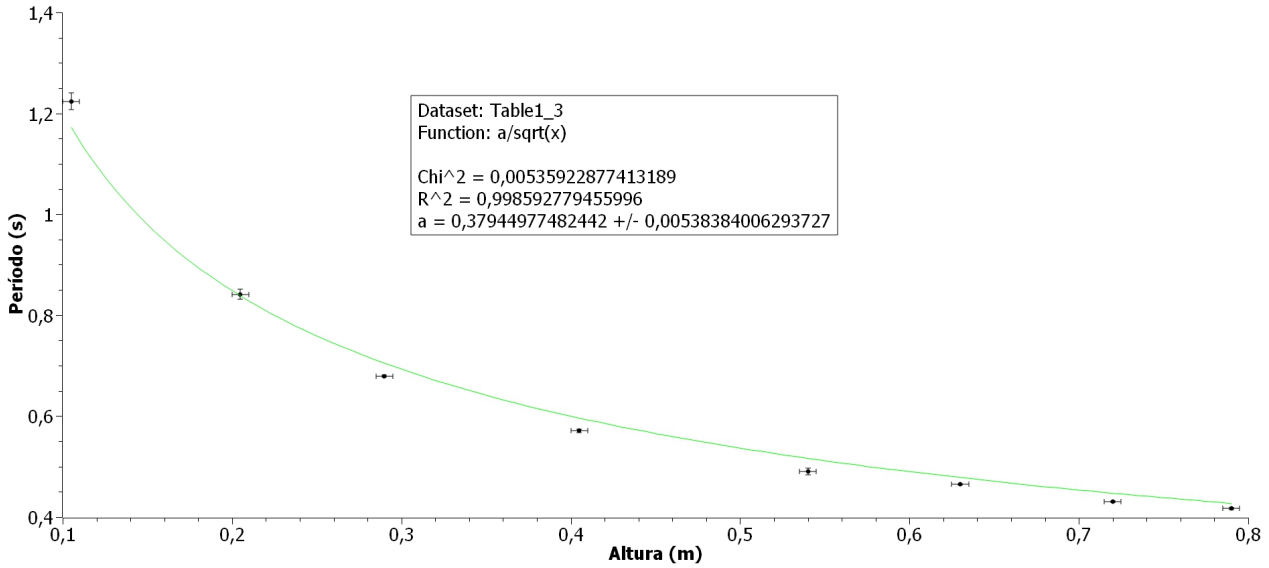


Figura 14: Gráfico  $T \times h$

O segundo gráfico analisou a relação entre o produto  $\frac{1}{T \times T_p}$  e a massa aplicada ao sistema, onde  $T_p$  representa o período de precessão, conforme mostrado na figura 15.

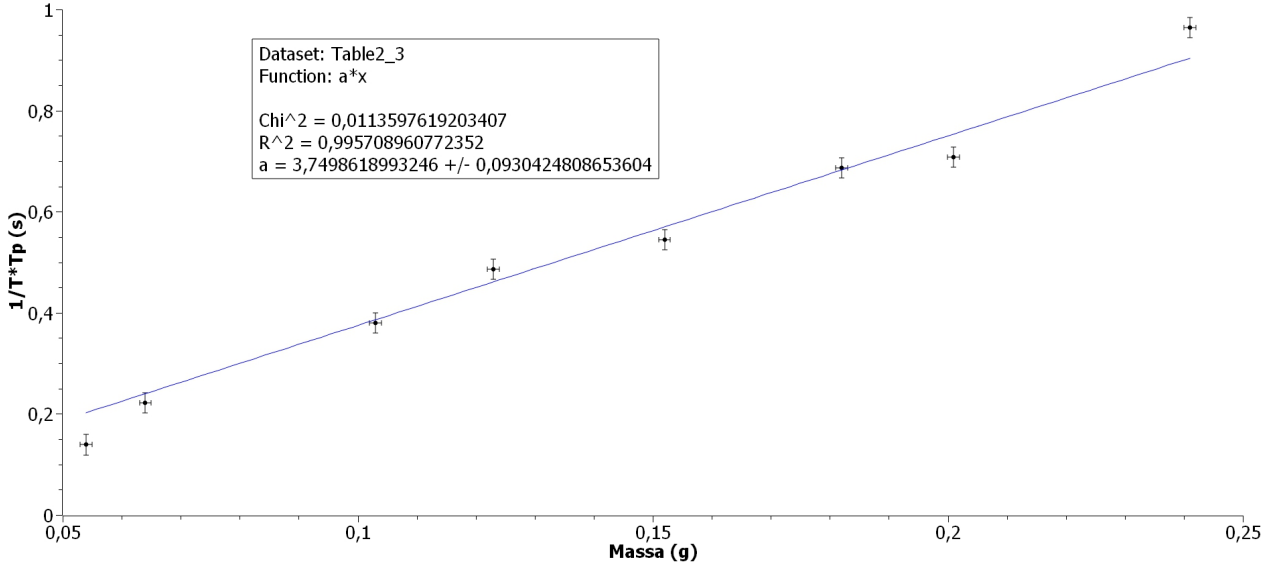


Figura 15: Gráfico  $\frac{1}{T \times T_p} \times$  massa

A reta ajustada no segundo gráfico não intercepta a origem devido a fatores experimentais como atrito nos rolamentos do giroscópio e resistência do ar, que introduzem um torque adicional não previsto nas equações teóricas. Pequenas imprecisões nas medições do período de precessão e da massa aplicada também podem causar esse deslocamento. Esses efeitos modificam ligeiramente a proporcionalidade esperada entre as variáveis, explicando o desvio observado.

O cálculo do momento de inércia foi realizado a partir das equações correspondentes, e os valores obtidos foram comparados com as estimativas teóricas, apresentando uma boa con-

cordância, conforme é mostrado na tabela 5. O comportamento do sistema atendeu razoavelmente às previsões dos modelos físicos, e os métodos utilizados para a determinação do momento de inércia mostraram-se consistentes. Nenhuma anormalidade foi identificada durante o experimento, garantindo a confiabilidade dos dados registrados.

$$I = \frac{gl}{4\pi^2 a} \quad (7)$$

|                            |         |
|----------------------------|---------|
| $I$                        | 0,08504 |
| Momento de Inércia ( $I$ ) | 0,09273 |
| Erro Percentual            | 0,0829  |

Tabela 5: Tabela de Comparação de Valores do Momento de Inércia

## 6 Conclusão

O experimento realizado permitiu uma análise detalhada da dinâmica de rotação do giroscópio, demonstrando a validade dos conceitos teóricos envolvidos. A observação dos efeitos do momento angular, torque e precessão confirmou as previsões teóricas, evidenciando a relação direta entre a aplicação de forças externas e a resposta do sistema.

Os métodos empregados para a determinação do momento de inércia apresentaram consistência, e a análise dos dados experimentais mostrou uma boa concordância com os modelos físicos utilizados. As medições realizadas demonstraram um comportamento regular do giroscópio, sem desvios inesperados, reforçando a precisão dos resultados obtidos.

Dessa forma, o experimento confirmou a fundamentação teórica, validando os princípios físicos analisados e demonstrando que o giroscópio se comporta conforme o esperado dentro das condições estudadas. Nenhuma irregularidade foi observada durante a realização do procedimento, garantindo que os dados obtidos sejam representativos da dinâmica do sistema.

## Referências

[IF-UnB]IF-UNB.

[Resnick e Halliday 2002]RESNICK, R.; HALLIDAY, D. *Física*: Vol. i. 5<sup>a</sup>. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora (LTC), 2002.