

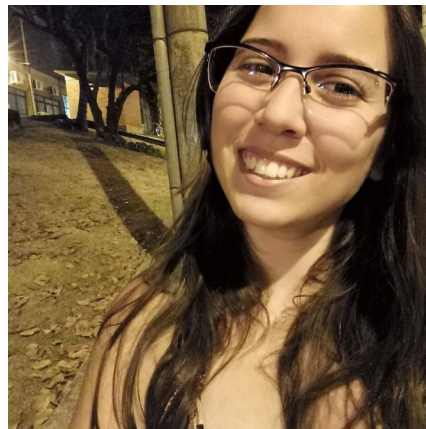


UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP

INSTITUTO DE FÍSICA GLEB WATAGHIN – IFGW

CURSO DE TÓPICOS DE ENSINO DE FÍSICA II – F 709

2º SEMESTRE, 2019



Isabella Gonçalves da Cunha  
i170074@dac.unicamp.br

Relatório Final

*Rotações de corpos em um plano inclinado*

Professor: Prof. Dr. José Joaquín Lunazzi

# Sumário

<b>Resumo</b>	<b>3</b>
<b>Introdução</b>	<b>3</b>
<b>Descrição</b>	<b>3</b>
<b>Descrição do Experimento</b>	<b>4</b>
<b>Resultados</b>	<b>6</b>
<b>Conclusão</b>	<b>7</b>
<b>Referências</b>	<b>8</b>
<b>Anexo</b>	<b>9</b>

## **Resumo**

O criação projeto de Rotações de corpos em um plano inclinado foi a partir do incentivo do professor José Joaquin Lunazzi para a disciplina de Tópicos de Ensino de Física II. O projeto tem como referência os experimentos realizados por Gabriela Fasolo Pivaro em 2014 e Murilo Guimarães Borges em 2016. O experimento consiste em dois corpos de massas iguais porém possuem a distribuição de massa diferentes, e que são abandonados em uma rampa única ao mesmo tempo, na mesma altura e alinhados. O projeto foi construído a partir de materiais comprados e parte da estrutura do cilindro foi cedido pelo professor Lunazzi.

No projeto foi exposto no evento Consulta à Comunidade - CàC na qual houve a necessidade de umas correções no experimento, visto que o experimento estava funcionando conforme esperado. A principal incerteza que o experimento possuía era de que a rampa estava sobre uma mesa que tinha uma certa inclinação com o solo, fazendo um lado ligeiramente mais alto que o outro. A correção foi proposta por outro aluno da disciplina em fazer o experimento em uma rampa de acesso de uma sala na qual o resultado foi o esperado para alguns casos ainda, mas em geral, o experimento teve bom funcionamento, porém se atentando a várias situações que pode influenciar.

## **Introdução**

Para a disciplina F 709 - Tópicos de Ensino de Física II, ministrada pelo Professor Dr. José Joaquín Lunazzi no segundo semestre de 2019 foi proposto aos alunos que realizassem um projeto de experimento de física na qual pode ser exposto em sala de aula ou em um evento para tal. Neste projeto o experimento proposto é com rotações de corpos em um plano inclinado. A principal ideia é mostrar que corpos de massas iguais mas de momentos de inércias diferentes, possuem acelerações diferentes. Para tal demonstração os corpos são abandonados ao mesmo instante e da mesma altura e observados que cada corpo atinge uma velocidade ao chegar ao final da rampa.

## Descrição

Foi realizado uma pesquisa com dois alunos do primeiro ano do ensino médio. Essa pesquisa se deu em mostrar um vídeo da montagem do experimento e questionar qual seria o cilindro a chegar primeiro no final da rampa. Foi obtido duas respostas iguais de que o cilindro com massa mas “para fora” seria a primeira a chegar devido que toda massa está mais distribuída. Essas respostas estão erradas e podemos provar-las através do experimento de cilindros num plano inclinado.

Com o auxílio de uma rampa de madeira, que pode ser ajustada em diferentes alturas, abandonamos dois cilindros que possui massas iguais porém a distribuição de massa são diferentes. O resultado que obtemos é que o cilindro na qual a massa está mais concentrada no centro, possui maior aceleração e por consequência maior velocidade chegando primeiro na base da rampa.

O experimento será construído com materiais recicláveis e comprados, sendo a rampa feita por encomenda, mas feita de madeira para diminuir o custo. A ideia assim é apresentar um experimento que seja prático e que demonstra um fenômeno físico e que seja mais barato, fácil de montar e de executar.

## Descrição do Experimento

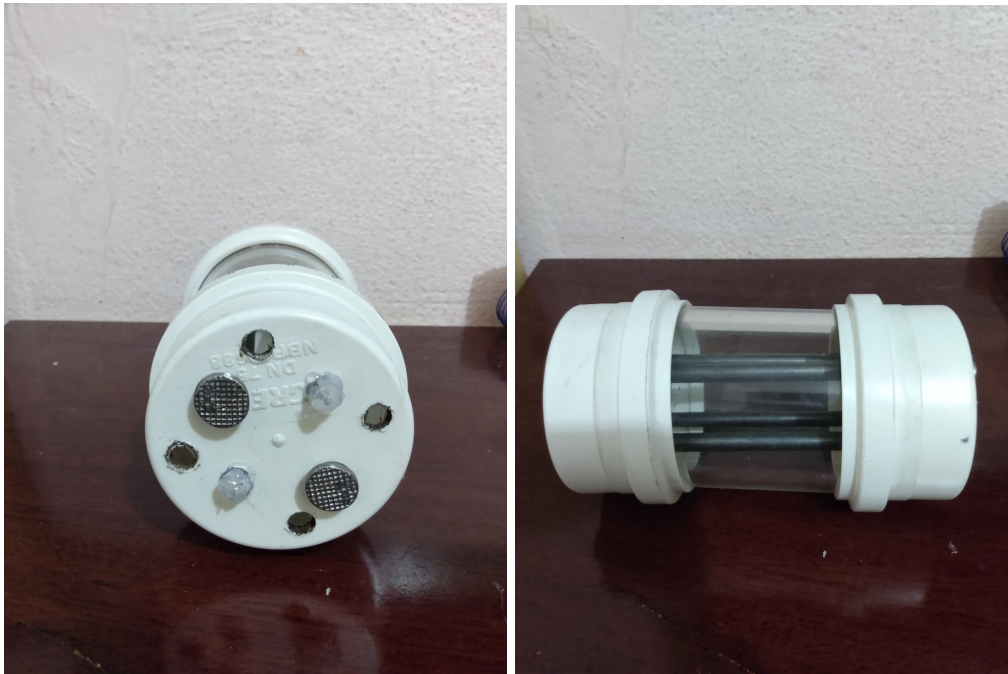
Os materiais para esse experimento consiste em uma rampa e dois corpos cilíndricos de mesmo peso porém com distribuição de massa diferentes.

A rampa será feita de madeira e que está fixada em outra, que serve como a base, por meio de dobradiças, conforme esboço desenhado na figura 1. A ideia de criar uma rampa desde modo é que com o auxílio de bastões, também de madeira, possamos ajustar alturas diferentes para o experimento. A rampa foi feita sob encomenda e ainda não foi entregue. A entrega está prevista para no máximo no dia 18 de novembro de 2019.



**Figura 1** - Rampa utilizada no experimento

Os cilindros foram feitos de um ciclo do de acrílico cedido pelo professor Lunazzi, pregos de 25cm de comprimentos e tampas para cano de PVC.



**Figura 2** - Cilindro com distribuição de massa a 2 cm do centro.



**Figura 3** - Cilindro com distribuição de massa a 1 cm do centro.



**Figura 4** - Medição na balança de ambos os cilindros.

## Resultados

No dia 18 de novembro de 2019 aconteceu o evento Consulta à Comunidade - CàC no corredor em frente ao Laboratório de Ensino de Óptica, o LF-42 onde foi exposto e realizado o experimento.

O experimento foi realizado primeiramente em casa e funcionou conforme as expectativas, porém no evento ocorreu de não funcionar corretamente, ou seja, houve casos que o cilindro com a distribuição de massa mais longe do centro teve maior aceleração. No

evento o experimento foi realizado em cima da mesa, usando a rampa construída, porém a mesa não estava alinhada corretamente, tendo uma angulação por causa do desnível do chão. Foi proposto por outro aluno de realizarmos o experimento em uma rampa que há na porta do LF - 42. O experimento teve sucesso quando abandonamos ambos os cilindros com a mesma mão e exatamente alinhados.

Em visita ao laboratório do professor Lunazzi, colocamos os cilindros em prova de diversas formas, utilizando a tábua de madeira, papelão e quadrados de PVC. Na tábua de madeira o experimento não funcionava conforme esperado quando os dois cilindros eram postos e largados lado a lado, ambos desciam até o final ao mesmo tempo. Com o papelão percebemos que havia uma balancê, que vimos que ocorreu como um amortecedor, que fez com que a partir de certo ponto do papelão ambos desciam ao mesmo tempo e juntos, quando largados um de frente com o outro. Utilizamos então as placas de PVC e criamos um caminho para a descida, porém neste caso observamos que havia um deslizamento junto com a rotação, assim ambos novamente desciam ao mesmo tempo. Assim foi proposto aumentar o atrito e assim adicionamos borracha aos cilindros, conforme as figuras 5







Figura 5 - Cilindros adicionado borracha para aumentar o atrito.

Após adicionar as borrachas nos cilindros, podemos observar um dos cilindros (o preto) descer mais rapidamente e chegar ao final da rampa primeiro.

## Conclusão

O experimento construído e realizado com corpos cilíndricos, na qual são abandonados em uma rampa e estão alinhados e ao mesmo tempo, a maioria dos casos coincidiu com a teoria física de que o cilindro de momento de inércia maior, tem uma aceleração maior, assim chegando a base da rampa primeiro.

O projeto foi construído com materiais comprados, mas de baixo custo, podendo assim ser facilmente construído por alunos e professores em conjunto.

A realização do experimento no evento CàC teve alguns problemas devido que a rampa na qual os cilindros eram abandonados não estava alinhado paralelamente com o solo, fazendo com que o lado que o cilindro fosse abandonado influencia a descida, o que não é o ideal e correto.

Com a visita ao laboratório e a orientação do professor Lunazzi, percebemos que foi necessário adicionar um elemento (borracha) ao cilindros para que tivessem maior atrito e não deslizesse e sim somente rotacionasse e também que para melhor percepção do experimento, o ideal é que o plano inclinado seja longo, a pequenas distâncias é mais difícil observar.

## Referências

1. INFOESCOLA. **Momento de inércia.** 2019. Disponível em: <<http://https://www.infoescola.com/mecanica/momento-de-inercia/>>. Acesso em: 30 set. 2019.
2. HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física: Mecânica.** 10. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2016.
3. LUNAZZI, Jose. **Rotações em um plano inclinado.** (2 min e 16s). 27 de julho de 2016. Disponível em: <<https://youtube.com/watch?v=IXnc2ZjFXRk>>. Acesso em: 20 set. 2019.
4. BORGES, Murilo Guimarães. **Relatório Final: Rotações num plano inclinado.** Campinas: Unicamp - IFGW, 2016. 15 p. Disponível em: <[https://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530\\_F590\\_F690\\_F809\\_F895/F809/F609\\_2016\\_sem1/Murilo\\_Borges-Mauricio\\_Kleinke\\_RF2.pdf](https://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F609_2016_sem1/Murilo_Borges-Mauricio_Kleinke_RF2.pdf)>. Acesso em: 20 set. 2019.
5. PIVARO, Gabriela Fasolo. **Rotações num plano inclinado.** Campinas: Unicamp - IFGW, dezembro de 2014. 9 p. Disponível em: <[https://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530\\_F590\\_F690\\_F809\\_F895/F809/F609\\_2014\\_sem2/Gabriela-Francisco\\_RF.pdf](https://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F609_2014_sem2/Gabriela-Francisco_RF.pdf)>. Acesso em: 21 nov. 2019.

## Anexo

### Teoria Física do Experimento

## Momento de Inércia

Na mecânica temos o momento de inércia que expressa o grau de dificuldade em se alterar o estado de movimento de um corpo em rotação. Diferentemente da massa inercial, o momento de inércia também depende da distribuição da massa em torno de um eixo de rotação. Quanto maior for o momento de inércia de um corpo, mais difícil será girá-lo ou alterar sua rotação. Contribui mais para o aumento do valor do momento de inércia a porção de massa que está afastada do eixo de giro. Um eixo girante fino e comprido, com a mesma massa de um disco que gira em relação ao seu centro, terá um momento de inércia menor que este. Sua unidade de medida, no SI, é  $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ , na qual “kg” é quilograma e “m” é metro.

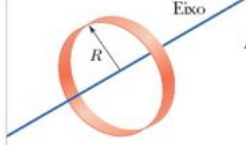
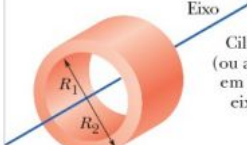
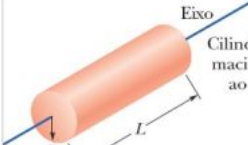
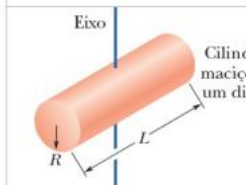
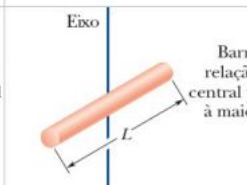
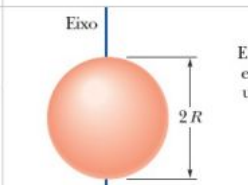
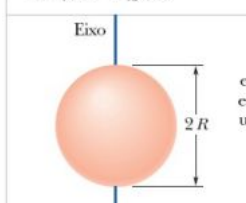
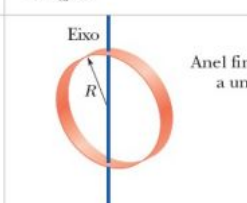
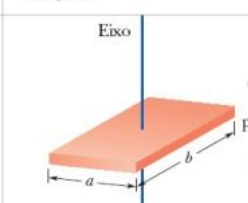
Quantitativamente analisando o momento de inércia ( $I$ ) chegamos na expressão:

$$I = m \cdot R^2 \quad (1)$$

O momento de inércia de um corpo com massa  $m$ , na qual o seu centro de massa está a uma distância  $R$  de um ponto fixo em torno do qual este objeto pode executar um movimento circular.

O valor de  $I$  para um corpo só faz sentido quando é especificado o eixo de rotação em relação ao qual o momento de inércia foi calculado.

**Tabela 10-2 Alguns Momentos de Inércia**

 <p>Anel fino em relação ao eixo central</p> <p><math>I = MR^2</math></p> <p>(a)</p>	 <p>Cilindro oco (ou anel grosso) em relação ao eixo central</p> <p><math>I = \frac{1}{2}M(R_1^2 + R_2^2)</math></p> <p>(b)</p>	 <p>Cilindro (ou disco) maciço em relação ao eixo central</p> <p><math>I = \frac{1}{2}MR^2</math></p> <p>(c)</p>
 <p>Cilindro (ou disco) maciço em relação a um diâmetro central</p> <p><math>I = \frac{1}{4}MR^2 + \frac{1}{12}ML^2</math></p> <p>(d)</p>	 <p>Barra fina em relação a um eixo central perpendicular à maior dimensão</p> <p><math>I = \frac{1}{12}ML^2</math></p> <p>(e)</p>	 <p>Esfera maciça em relação a um diâmetro</p> <p><math>I = \frac{2}{5}MR^2</math></p> <p>(f)</p>
 <p>Casca esférica fina em relação a um diâmetro</p> <p><math>I = \frac{2}{3}MR^2</math></p> <p>(g)</p>	 <p>Anel fino em relação a um diâmetro</p> <p><math>I = \frac{1}{2}MR^2</math></p> <p>(h)</p>	 <p>Placa fina em relação a um eixo perpendicular passando pelo centro</p> <p><math>I = \frac{1}{12}M(a^2 + b^2)</math></p> <p>(i)</p>

**Figura 1** - Momentos de Inércia de nove formas geométricas comuns e seus eixos de rotação

## Torque

Torque é uma ação de girar ou de torcer um corpo em torno de um eixo de rotação, produzida por uma força . Se é exercida em um ponto dado pelo vetor posição em relação ao eixo, o módulo do torque é

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} \quad (2)$$

Com a equação do momento de inércia, é possível calcular o momento de qualquer corpo, assim podemos descrever a equação de torque como:

$$\tau = I \cdot \alpha \quad (3)$$

A equação (3) é equivalente a Segunda Lei de Newton para objetos sujeitos a torque, na qual  $\tau$  é o torque,  $I$  é o valor do momento de inércia e  $\alpha$  é a aceleração angular.