



**Universidade de Brasília**

**FACULDADE UnB PLANALTINA**

**LICENCIATURA EM CIÊNCIAS NATURAIS**

**DEMONSTRAÇÃO QUALITATIVA DA ATRAÇÃO  
GRAVITACIONAL ENTRE MASSAS ORDINÁRIAS**

**AUTORA: GABRIELLE PEREIRA EMERENCIANO**

**ORIENTADOR: IVAN FERREIRA DA COSTA**

**Planaltina - DF**

**Julho 2019**



**Universidade de Brasília**

**FACULDADE UnB PLANALTINA**

**LICENCIATURA EM CIÊNCIAS NATURAIS**

**DEMONSTRAÇÃO QUALITATIVA DA ATRAÇÃO  
GRAVITACIONAL ENTRE MASSAS ORDINÁRIAS**

**AUTORA: GABRIELLE PEREIRA EMERENCIANO**

**ORIENTADOR: IVAN FERREIRA DA COSTA**

*Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora, como exigência parcial para a obtenção de título de Licenciado do Curso de Licenciatura em Ciências Naturais, da Faculdade UnB Planaltina, sob a orientação do Professor Ivan Ferreira da Costa.*

**Planaltina - DF**

**Julho 2019**

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho à minha família, em especial minha querida mãe e minha querida avó Elza, também dedico aos meus amigos, em especial Cléia, Larissa e Wellington e à todos professores que compartilharam o conhecimento nessa jornada, e que a força esteja com vocês.*

## RESUMO

A atração gravitacional entre massas ordinárias, da ordem de quilogramas, em laboratórios não é fácil de ser observada. A construção de um pêndulo de torção a partir de materiais de baixo custo, para ser manuseado em sala de aula é uma proposta metodológica que objetiva a visualização da atração gravitacional entre massas. O pêndulo foi montado com uma linha de pesca fixa a uma barra de alumínio suspensa, e com duas esferas de chumbo equilibradas nas suas extremidades. O aparato experimental possibilitou a observação da atração gravitacional entre massas ordinárias. Foram produzidas filmagens do resultado do experimento que pode ser usado como material instrucional por professores.

Palavras-chave: pêndulo, gravitação, esferas, Cavendish.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>01</b>
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>04</b>
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	<b>08</b>
3.1 MATERIAIS E CONFECÇÃO DAS ESFERAS .....	08
3.2 MATERIAIS E CONSTRUÇÃO DO PÊNULO .....	11
3.3 REALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO .....	13
<b>4. DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>16</b>
<b>5. PERSPECTIVAS</b> .....	<b>17</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>17</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Balança de torção .....	2
Figura 2 - Kit didático experimental para a medida de G .....	3
Figura 3 – Medidas de G .....	4
Figura 4 - Experimento de Cavendish .....	6
Figura 5 - Materiais para confecção das esferas .....	9
Figura 6 - Esferas .....	10
Figura 7 - Peças de contrapeso de rodas .....	10
Figura 8 - Forno .....	11
Figura 9 – Peso das esferas .....	11
Figura 10 - Materiais para a construção do pêndulo .....	12
Figura 11 - Pêndulo .....	12
Figura 12 - Local onde foi realizado o experimento .....	13
Figura 13 - Montagem do experimento .....	14
Figura 14 - Experimento montado .....	14
Figura 15 - Sequência de medidas .....	15

# DEMONSTRAÇÃO QUALITATIVA DA ATRAÇÃO GRAVITACIONAL ENTRE MASSAS ORDINÁRIAS

## 1. INTRODUÇÃO

Entre 1797 e 1798 Henry Cavendish calculou experimentalmente o valor da densidade da Terra com o uso da balança de torção. Após alguns anos, cientistas observaram que era possível calcular a constante da gravitação universal encontrada na fórmula de Newton, através desse experimento. Com o passar do tempo, a balança de torção foi cada vez mais aprimorada, buscando aumentar a sua precisão. (CREASE, 2006)

A balança de torção (Figura 1) é um equipamento composto por um fio com um espelho na extremidade inferior e possui uma barra suspensa, no formato de um T invertido. Nas extremidades da barra estão dispostas duas esferas de chumbo com massa  $m$ . Duas esferas com massa  $M$  são aproximadas destas, quando ocorre essa aproximação surge um torque no fio fazendo com que a barra gire em um certo ângulo que é medido com precisão com a projeção em um anteparo distante. Esse torque é causado pela força gravitacional entre as massas das esferas. É através do ângulo que é calculada a força que causou o torque, e a partir das massas que são conhecidas, a constante gravitacional  $G$  é calculada. (REIS, 2010)







Figura 2 – Kit didático experimental para a medida de  $G$   
Fonte: <https://www.3bscientific.com.br> (acesso em 15/05/2019)

Mas como as forças envolvidas entre as esferas do kit experimental são muito pequenas, esse experimento requer muita dedicação e atenção por parte dos estudantes para efetivamente obter algum valor satisfatório para a constante gravitacional.

Além disso o movimento do pêndulo de torção é muito pequeno e invisível a olho nu. Para permitir a medida do movimento são utilizados sensores diferenciais capacitivos, o qual suprime consideravelmente os ruídos e oscilações e é registrado com um computador. Alternativamente a demonstração do movimento também é possível com a ajuda de um pequeno espelho fixado no fio do pêndulo que pode refletir um feixe de laser no anteparo distante, como feito por Cavendish em seu experimento original.

Assim esses kits didáticos são caros e delicados e, em geral, não estão disponíveis aos estudantes nas escolas e universidades do Brasil, o que é uma pena do ponto visto didático e da formação científica do aprendiz. Então é de grande interesse criar alternativas experimentais de baixo custo para a visualização da atração entre massas que podem ser manipuladas nos laboratórios didáticos.

$G$  é a constante fundamental da física com menor precisão em sua medida, e ainda hoje existe uma diferença nos valores encontrados para  $G$  (ver tabela abaixo). Isso demonstra a dificuldade na medida dessa constante.

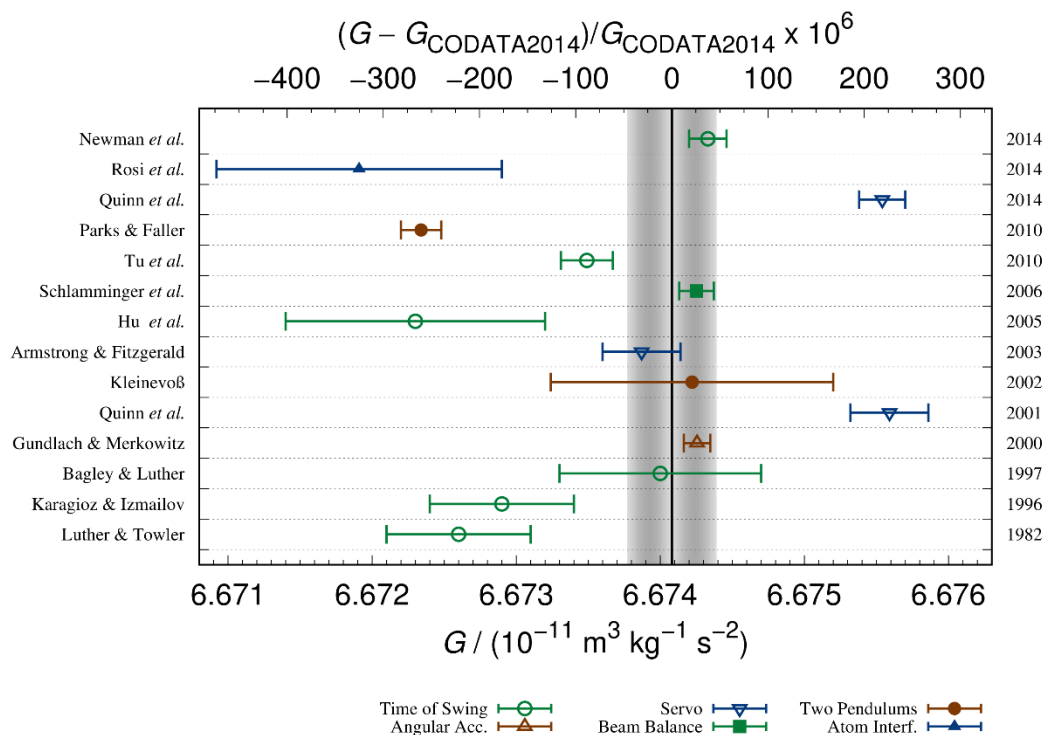


Figura 3 – Medidas de  $G$

Fonte: <https://arxiv.org/pdf/1407.5214.pdf> (acesso em 15/05/2019)

Este trabalho tem como objetivo geral criar uma alternativa experimental de baixo custo para a visualização da atração entre massas que podem ser manipuladas nos laboratórios didáticos.

Como objetivo específico espera-se montar um pêndulo de torção com linha de pesca, barra de alumínio e bolas de chumbo, logo após, filmar esse pêndulo durante várias horas afim de captar o movimento de atração entre as esferas.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A força gravitacional tem sido objeto de estudo de diversos físicos, o grande objetivo é compreendê-la, uma vez que é uma força considerada pequena em

comparação com as outras forças fundamentais da física, e é de grande complexidade seu entendimento uma vez que ela está presente entre todo corpo que possui massa. É ela que mantém a Terra em órbita ao redor do Sol, nos mantém na superfície da Terra, e que atrai um copo da mão de uma pessoa para a superfície da Terra, estando presente em todo o universo, fazendo com que haja atração entre as partículas e estrelas presentes nas galáxias, sendo assim é uma das importantes forças fundamentais da física. (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012, p. 28)

Existem quatro forças fundamentais da física, elas são a força da gravidade com intensidade relativa de  $10^{-40}$ , a força fraca, força eletromagnética e força forte, com intensidades relativas respectivamente da ordem de  $10^{-12}$ ,  $10^{-2}$  e 0,8. (CAVALCANTI, 2001)

Entre 1797 e 1798 foi desenvolvido o experimento de Cavendish com o objetivo de medir a densidade da Terra. O cientista Cavendish, dedicou grande parte do tempo pesquisando as influências que resultariam em erros na parte experimental, dessa forma, o equipamento planejado por ele minimizava as influências externas e internas do equipamento no resultado final. Cavendish relatou que a força de atração entre as esferas seria extraordinariamente pequena, aproximadamente 1/50.000.00 de seu peso. Dessa forma, qualquer distúrbio como interferência do ar, atração elétrica, ou atração gravitacional entre os materiais componentes da balança de torção ou presentes no ambiente seriam capazes de interferir no resultado do experimento. (CREASE, 2006)

Segundo Crease (2006), o aparato foi montado dentro de uma caixa de madeira em um local onde não ocorria diferença de temperatura para que não fomentasse correntes de ar, as esferas menores penduradas em um braço de madeira possuíam 5 centímetros de diâmetro, a balança de torção por sua vez estava pendurada por um arame, e as esferas maiores possuíam 30,50 centímetros de diâmetro e pesavam 158,76 kg cada uma. Cavendish era rigoroso com os detalhes, para sua presença na sala não interferir no experimento, ele criou um sistema onde poderia acompanhar a realização do experimento pelo lado de fora, com a ajuda de telescópios e lâmpadas da época. O objetivo do experimento era verificar a oscilação

do movimento do braço com as esferas menores atraídas gravitacionalmente pelas maiores. Cavendish pôde calcular a densidade da Terra a partir desses dados experimentais, ele possuía os dados da força de atração entre as esferas, a densidade das esferas e com esses dados chegou-se ao cálculo da densidade da Terra.

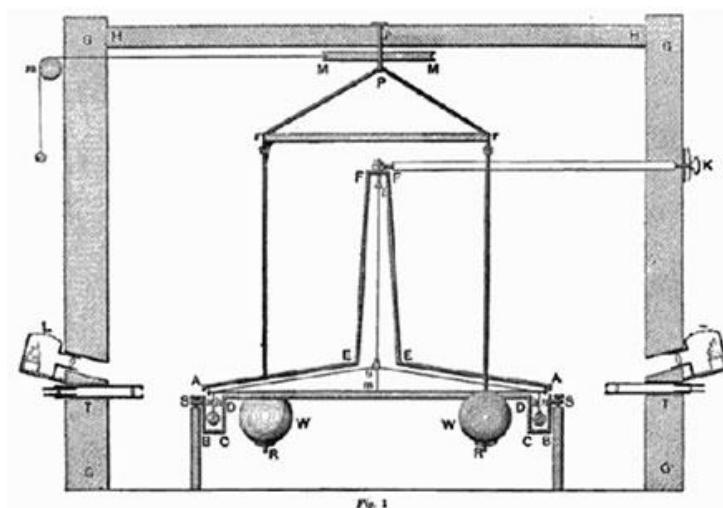


Figura 4 – Experimento de Cavendish

Fonte: <http://diadiacomafisica.blogspot.com/2011/11/experimento-de-henry-cavendish-na.html> (acesso em 15/05/2019)

Para Cavendish, seu experimento era útil apenas no cálculo da densidade da Terra, mas, anos após a descoberta da densidade da Terra, cientistas perceberam que com o aparato criado por ele, era possível medir a constante gravitacional, com o uso da lei da gravitação universal de Newton, que diz que uma força gravitacional  $F$  entre dois corpos esféricos é diretamente proporcional ao produto de  $m_1$  e  $m_2$  e inversamente proporcional ao quadrado da distância e multiplicado por  $G$ , que é a constante gravitacional. (CREASE, 2006)

Segundo a crença popular, Isaac Newton estava sentado sob uma macieira, quando observou a queda de um fruto, após esse instante começou a supor que a força que atraía a maçã para a Terra, era a mesma que conservava a lua em órbita da Terra, que recorda a trajetória de planetas em volta do Sol. (HEWITT, 2006)

Dessa forma, Newton concluiu que essa força de atração não é restrita apenas a Terra com relação a maçã e a Lua, mas todo corpo que possui massa atrai todos os demais que também possuem massa, e que a gravitação é a propensão dos corpos de se atraírem. A gravitação se torna menos óbvia para ser observada visto que a força de atração que a Terra exerce sobre corpos próximos a ela é muito maior e mais fácil de ser notada, por exemplo, é mais fácil ver a Terra atraindo uma manga em queda livre, ao invés de ver uma manga atrair uma outra com massa igual ou maior que ela, pois a força de atração entre ambas as frutas, é em uma escala quase desprezível e pouco perceptível. (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012, p. 28)

Segundo Newton, a atração gravitacional entre as massas é mútua, ambos os corpos estão se atraindo, e a força de atração entre eles é diretamente proporcional ao produto das suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas. Que pode ser expressa por essa proporção:

$$F \sim \frac{m_1 \times m_2}{d^2}$$

Em que  $m_1$  e  $m_2$  são respectivamente o valor da massa dos corpos e  $d^2$  o quadrado da distância que separa o centro dos dois corpos. Analisando a equação pode-se notar que quanto maior o valor da massa, maior será o valor da força, e inversamente, quanto maior a distância entre eles, menor será a força.

Sendo assim, para a lei da gravitação universal ser abordada como uma equação proporcional, é inserida a constante da proporcionalidade G, que é conhecida como a constante da gravitação universal.

$$F = G \frac{m_1 \times m_2}{d^2}$$

Onde G é uma constante, ou seja, ela tem um número definido, e esse número é obtido de acordo com o resultado da força de atração entre dois corpos onde cada

um possui uma massa de 1kg e estão à 1 metro de distância que é igual a:  $6,67 \times 10^{-11}$  N. Dessa forma a força de atração gravitacional é considerada fraca. (HEWITT, 2006).

Alternativamente a medida da força gravitacional pode ser obtida através da medida do tempo e da distância percorrida devido a força de atração gravitacional entre as esferas.

Foong obteve a equação do movimento para a atração gravitacional entre dois corpos descrevendo o tempo em função das distâncias para um dos corpos fixo e o outro livre, ela é derivada a partir da segunda lei de Newton ou da conservação de energia, onde é possível calcular a dependência de distância pelo tempo. Onde L é a distância inicial entre os centros das esferas, G é a constante gravitacional,  $m_1$  é a massa da esfera fixa e x é a distância final entre as esferas após o movimento no tempo t. (Foong, 2008)

$$t = \sqrt{\frac{L}{2Gm_1}} \left( \sqrt{x(L-x)} + L \cos^{-1} \sqrt{\frac{x}{L}} \right)$$

Equação. 1

### 3. METODOLOGIA

O presente trabalho será dividido em duas partes: A primeira estará relacionada com a confecção do aparato experimental, e a segunda na montagem e realização do experimento.

#### 3.1 MATERIAIS E CONFEÇÃO DAS ESFERAS

Para a confecção das esferas foi necessário:

- Sucatas de chumbo;
- Formas de vela;
- Forno;
- Capela de exaustão.



Figura 5 - Materiais para confecção das esferas  
Fonte: Tirada pela autora.

Para a realização do experimento foram confeccionadas quatro esferas de chumbo, a partir de sucatas de contrapeso de alinhamento de rodas automotivas, recolhidas de oficinas de balanceamento de carro a um baixo custo (aproximadamente 2 reais o kg).



Figura 6 - Esferas  
Fonte: Tirada pela autora.

O chumbo foi derretido no forno e moldado no formato esférico utilizando formas esféricas de vela.



Figura 7 – Peças de contrapeso de rodas  
Fonte: Tirada pela autora.

Logo após, a forma foi posicionada dentro do forno, que por medidas de segurança foi disposto dentro de uma capela devido a aspiração do vapor de chumbo ser altamente tóxico, dessa forma, o forno só foi aberto após todo o procedimento de aquecimento e resfriamento ser concluído, ou seja, após ocorrer a fusão do chumbo, e logo após a solidificação. A temperatura do forno se aproximou dos 400°C.





Figura 8 – Forno  
Fonte: Tirada pela autora.

Foram utilizadas duas formas de tamanhos diferentes para a confecção das esferas, sendo assim, formou-se dois pares de esferas, onde as duas esferas maiores possuem respectivamente as massas de 5,487 kg e 5,489 kg e as duas esferas menores respectivamente 3,144kg e 2,863kg, e os diâmetros por sua vez são de 9,5 cm e 8 cm.



Figura 9 – Esferas pesadas  
Fonte: Tirada pela autora.

### 3.2 MATERIAS E CONSTRUÇÃO DO PÊNDULO

- Barra de alumínio de 2 metros de comprimento;
- Linha de pesca de 0,5 milímetros de diâmetro;

- Fio de metal.
- Quatro esferas de chumbo.



Figura 10 – Materiais para a construção do pêndulo  
 Fonte: Tirada pela autora.

Previamente, um fio de metal foi fixado de forma horizontal no local da realização do experimento. O pêndulo foi construído através da linha de pesca com a barra de metal fixa em uma das extremidades, e fixado de maneira vertical no fio. Em cada extremidade da barra de alumínio foi colocada uma esfera de chumbo, uma das esferas com peso de 3,144kg e a outra 2,863kg.



Figura 11 - Pêndulo  
 Fonte: Tirada pela autora.

Duas esferas com massas iguais a 5,487 kg e 5,489 kg foram posicionadas a uma distância de 50 centímetros das esferas fixas no pêndulo. Com o intuito de diminuir as correntes do ar e trepidações as janelas e porta da sala foram mantidas fechadas e cobertas por tecidos.

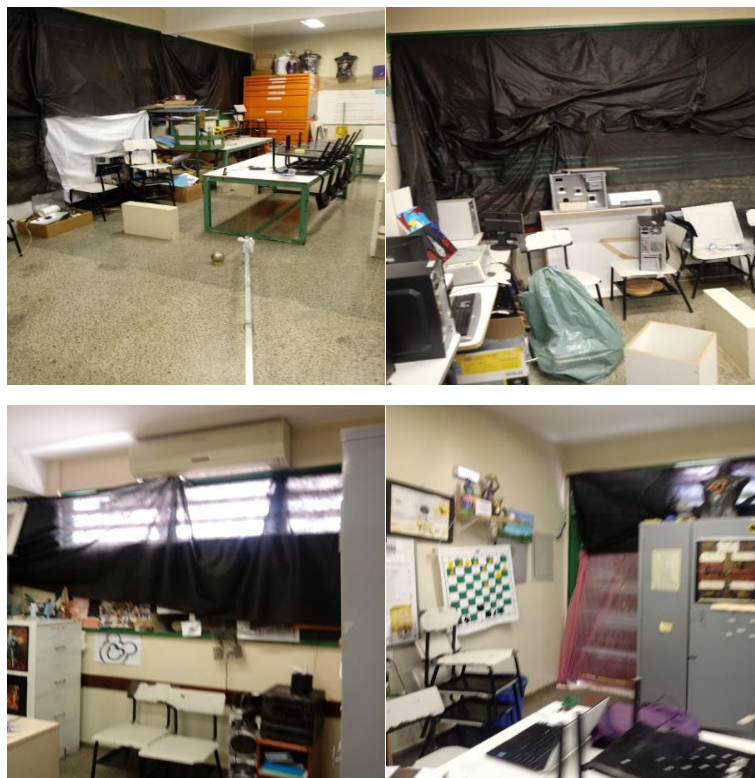


Figura 12 – Local onde foi realizado o experimento  
Fonte: Tirada pela autora.

### 3.3 REALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

A montagem do experimento se inicia com a fixação da linha de pesca no fio na barra de alumínio, cada uma das duas esferas menores está disposta em uma das extremidades da barra, logo após, a outra extremidade do fio é presa ao arame de metal que atravessa a sala de um lado ao outro, dessa forma o pêndulo é fixado.



Figura 13 – Montagem do experimento  
Fonte: Tirada pela autora.

Posteriormente, as esferas maiores são posicionadas a uma distância inicial  $L$  correspondente a 0,50 metros ao lado de cada uma das esferas menores, sendo assim o pêndulo está livre, e o seu movimento pode ser ocasionado através da força de atração gravitacional entre as massas das esferas.



Figura 14 – Experimento montado  
Fonte: Tirada pela autora.

Logo após, o experimento é filmado por uma câmera com o objetivo de captar o movimento das esferas do pêndulo que partem da distância inicial  $L$  até se tocarem com as esferas fixas no chão, fazendo com que a distância final entre elas corresponda a  $x$  na equação, que é a distância entre o centro das esferas, ou seja, o valor da soma do raio das duas esferas juntas que é igual a 0,0875 metros. Na sequência de imagens abaixo, pode-se observar no lado superior esquerdo de cada imagem o momento correspondente a captura da imagem, e medir o tempo total entre a separação  $L$  das esferas, até atingirem a distância  $x$ , que em média foi de aproximadamente 10 minutos.



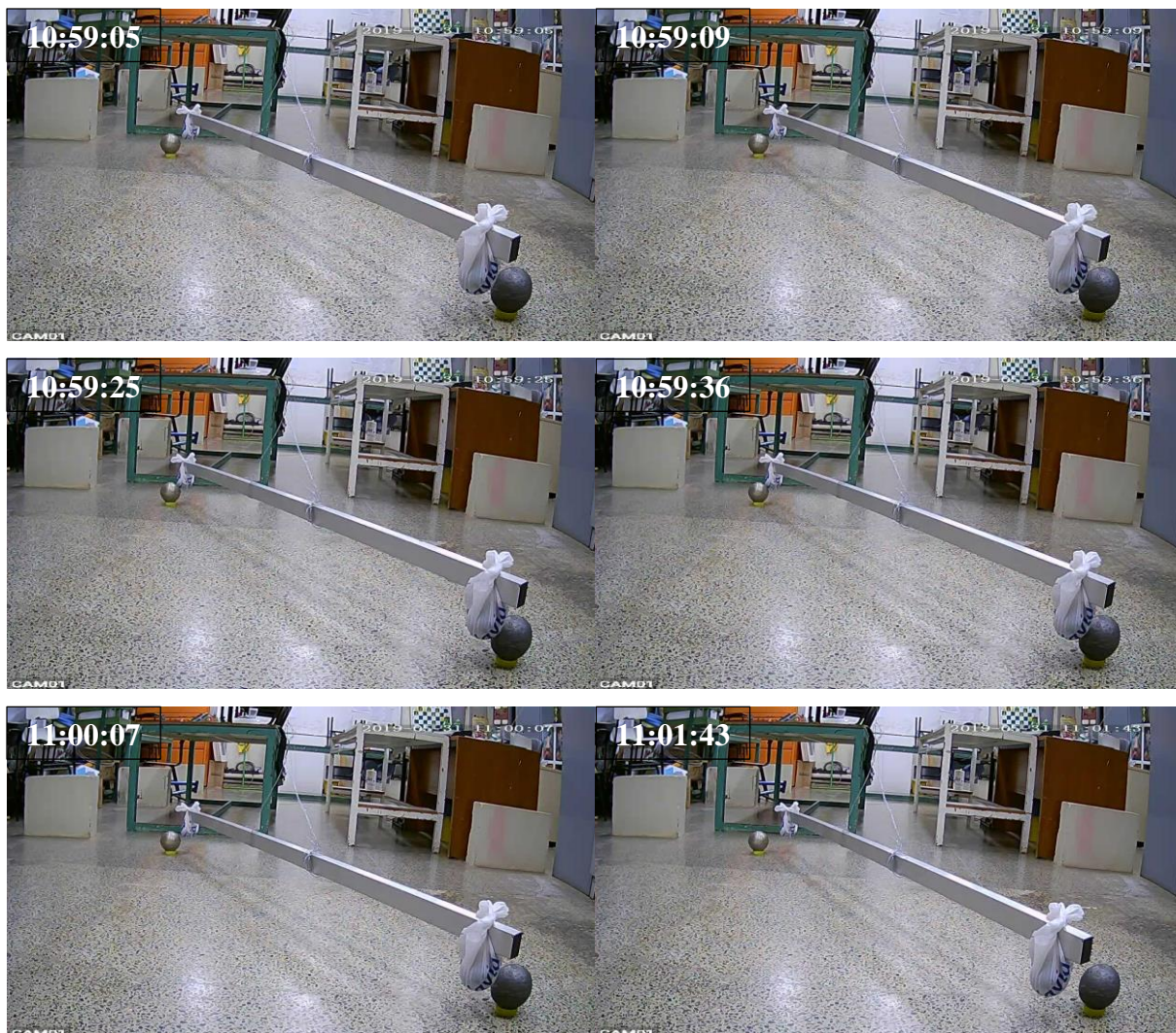


Figura 15 – Sequência de medidas

Fonte: Tirada pela autora.

#### 4. DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho trouxe resultados positivos na confecção das esferas de chumbo e na construção do pêndulo de torção através de materiais alternativos de baixo custo. Dessa forma chegou-se ao resultado esperado na confecção dos aparatos experimentais e da demonstração qualitativa da atração entre massas ordinárias.

## 5. PERSPECTIVAS

O experimento não obteve o resultado esperado para o cálculo da constante da gravitação universal, no entanto, em trabalhos futuros, realizando-se outras medidas do tempo para várias distâncias iniciais  $L$  e fazendo gráficos experimentais e teóricos do tempo em função da distância percorrida, nós acreditamos que será possível vencer as dificuldades experimentais e obter resultados quantitativos para a constante universal da gravitação.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOHREN, C. F.; **Dimensional analysis, falling bodies, and the fine art of not solving differential equations**. Am. J. Phys. Vol. 72, No. 4, 2004.

FOONG, S. K.; **From Moon-fall to motions under inverse square laws**. European Journal of Physics, Vol. 29, No. 5, 2008. Disponível em <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0143-0807/29/5/012> > (Acesso em 15/05/2019)

MUNGAN, C.; **Radial motion of two mutually attracting particles**. The Physics Teacher, Vol. 47, 2009.

CAVALCANTI, J.; Um pôster para ensinar física de partículas na escola. Física na Escola, Vol 2, n. 1, 2001.

CREASE, R. P.; **Os dez mais belos experimentos científicos**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2006.

SCHLAMMINGER, S.; PIXLEY, R. E.; NOLTING, F.; SCHURR, J.; STRAUMANN, U. **Reflections on a Measurement of the Gravitational Constant Using a Beam Balance and 13 Tons of Mercury**, 2018. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/1407.5214.pdf>. Acesso em 2019.

REIS, A. **Gravitação no contexto da pesquisa mineral: transposição para o ensino médio**. Tese (Mestrado em Física) – Pontifícia Universidade Católica de

Minas Gerais. Belo Horizonte, 2010.

HALLIDAY, D.; RESNICK, J. W. R. **Fundamentos de Física**. v. 2. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. p. 28-30.

HEWITT, P. G. **Conceptual Physics**. 10. ed. San Francisco: Pearson, 2006. p. 161-164.

PIRES, A. S. T. **Evolução das ideias da Física**. 2. ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2008. p. 182, 209-215.