

CALCULANDO A ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE NO LABORATÓRIO DE FÍSICA EXPERIMENTAL DO CAMPUS CUITÉ, POR MEIO DO EXPERIMENTO DE QUEDA LIVRE

Luis Gomes de Negreiros Neto ¹
Damião Franceilton Marques de Sousa ²
Ruam Adelmo Macedo da Silva ³
Reinaldo Freire da Fonseca ⁴

RESUMO

A experiência realizada no laboratório de física da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG – Cuité), tem como destaque a observação e estudo dos corpos em queda livre, através da experiência que Galileu Galilei utilizou para estudar a queda dos corpos e sua aceleração gravitacional, utilizando métodos de estudo e equipamentos do laboratório, tendo como objetivo a determinação do valor da aceleração da gravidade local por meio indutivo dos dados de deslocamento e tempo de um corpo qualquer liberado à uma certa altura do solo. Através dos dados coletados, comparamos os resultados obtidos no laboratório com as conclusões que Galileu adquiriu em suas pesquisas, comprovando a teoria e os cálculos descritos por Galileu.

Palavras-chave: Laboratório de Física, Queda livre, Galileu Galilei, Gravidade local.

INTRODUÇÃO

A experiência realizada em laboratório, tem como destaque a observação e estudo dos corpos em queda livre, refazendo a experiência que Galileu utilizou para estudar a queda dos corpos e sua aceleração gravitacional, utilizando métodos de estudo e equipamentos em laboratório afim de comprovar as conclusões que Galileu adquiriu em suas pesquisas e comparar os resultados obtidos no laboratório com a teoria já existente.

O presente artigo tem como objetivo o estudo e a determinação do valor da aceleração da gravidade local por meio de análises de deslocamento que um corpo qualquer (Neste caso utilizamos esferas de diâmetros diferente) realiza até atingir o solo ao ser abandonado de uma determinada altura e em um certo instante de tempo, investigar na pratica como Galileu calculava a aceleração dos corpos em suas experiências e mostrar os resultados alcançado

¹ Graduando do Curso de Física da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, lgomes1004@gmail.com;

² Graduando do Curso de Física da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, franceiltonmarques@gmail.com;

³ Graduando do Curso de Física da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, ruammacedo1@gmail.com;

⁴ Graduando do Curso de Física da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, reynaldofreire@gmail.com;

com as próprias observações no laboratório, verificando que são satisfatoriamente adequados de acordo com os obtidos por Galileu.

O experimento foi realizado de duas maneiras diferentes propositalmente para que fossem comparados os resultados, através de meios distintos de realizar o experimento, primeiramente o experimento foi executado manualmente utilizamos uma esfera e um bloco retangular de madeira com massas distintas. A equipe responsável pelo experimento foi dividida entre funções e etapas, utilizamos também uma trena para medir a altura e um cronômetro para medir o tempo de queda dos dois corpos (figura 1).



Imagem 1: Modelo de trena utilizado para medir a altura, exemplo do cronômetro utilizado para medir o tempo.

Fonte: <https://www.google.com/search?q=cronometro+e+trena>

O segundo método, utilizamos esferas de diâmetro e massas diferentes para medir a aceleração da gravidade a partir de um equipamento constituído de sensores, haste e displays facilitando o registro do tempo que os corpos levam até atingir a base do equipamento, de forma mais precisa, conseqüentemente fornecendo uma margem de erro mínima (figura 2).

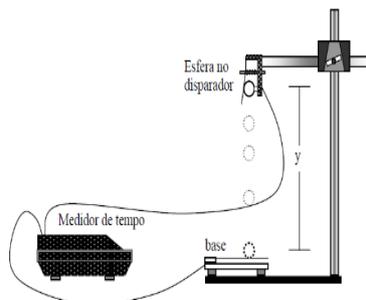


Imagem 2: Esquema de montagem do equipamento para medir o tempo de queda livre

Fonte: <https://www.google.com/search>

É importante sabermos que a gravidade como muitos se “enganam” não é constante, seu valor varia de acordo com o local do planeta onde será realizado o experimento. O artigo, portanto envolverá uma análise da gravidade, estudando as variáveis de espaço e de tempo percorrido por um corpo.

Ao soltarmos uma folha de caderno dobrada ao meio e um caderno da mesma altura, observamos que o caderno, por ser mais pesado, chega primeiro ao solo. Isso ocorre por causa da resistência do ar que exerce uma ação sobre os corpos, sendo o caderno o corpo com maior

massa, este chegará primeiro ao solo, isso também aconteceu no experimento realizado com as esferas e com o retângulo de madeira. Quando um corpo se movimenta sujeito apenas à aceleração gravitacional, desprezando qualquer tipo de resistência, dizemos que este corpo está em queda livre. Logo, queda livre é um movimento que só existe no vácuo, pois, só assim, não temos a resistência do ar.

METODOLOGIA

Na execução do experimento em que os dados foram obtidos manualmente foram utilizado dois corpos de massas e formas diferentes, já na execução do experimento utilizando o equipamento de medição foi utilizado duas esferas de diâmetros e massas diferentes. As formulas que foram tomadas como princípio de estudo para se alcançar os resultados desejados através dos dados coletadas durante a realização do experimento, foram:

$$Y = y_0 + v_0t + \frac{1}{2}gt^2 \quad (1)$$

Foi a equação utilizada para acharmos a gravidade (**g**) local, a partir dos conceitos seguidos por Galileu. Como o ponto de liberação do corpo é zero e a velocidade inicial também é zero, teremos apenas:

$$Y = \frac{1}{2}gt^2 \quad (2)$$

$$\therefore g = 2y/t^2 \quad (3)$$

Note que isolamos o “g” para podermos assim encontrar a aceleração gravitacional dos determinados corpos utilizados no experimento de queda livre. A equação (3) serve tanto para o caso do experimento realizado manualmente, quanto para o experimento realizado com o equipamento citado anteriormente na figura 2.

Após o desenvolvimento dos resultados alcançados do referente experimento, utilizamos a seguinte equação para encontrarmos a incerteza destes resultados, assim estabelecendo uma margem de erro aos dados do experimento.

$$\delta g = \left(\frac{2}{t^2}\right)^2 \delta g^2 + \left(-\frac{4h}{t^3}\right)^2 \delta t \quad (5)$$

Para acharmos a incerteza de “g”.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para as primeiras medidas foi utilizado uma esfera de 16mm, com massa de 16,75g (esfera 1) liberada de uma altura de 2,90m, cronometrando seu tempo de queda até o chão. No primeiro teste com a esfera obtivemos um tempo médio de $0,79s \pm 0,01$; e no segundo teste obtivemos um tempo médio de $0,694s \pm 0,01$. O experimento foi realizado repetidas vezes e com dois marcadores diferentes, com propósito de mostrar o erro aproximado de cada marcador e a diferença entre os tempos, chegando assim, em um valor médio. Os dados obtidos foram registrados na tabela 1 e 2.

Tabela 1: Dados coletados e calculados relativos à queda da (esfera 1) onde consta os resultados de tempo e gravidade e suas incertezas de acordo com a medição do 1º marcador.

Medição com a (esfera 1): 1º observador						
Teste	Altura h_0 (m)	$\pm\delta h$	Tempo t (s)	$\pm\delta t$	Aceleração g (m/s ²)	$\pm\delta g$
1	2,90	0,005	0,90	0,001	7,160493827	0,0004056
2	2,90	0,005	0,88	0,001	7,489669421	0,0004565
3	2,90	0,005	0,61	0,001	15,58720774	0,003334
4	2,90	0,005	0,76	0,001	10,04155125	0,000998
5	2,90	0,005	0,64	0,001	14,16015625	0,0025542
6	2,90	0,005	0,88	0,001	7,489669421	0,0004565
7	2,90	0,005	0,87	0,001	7,662835249	0,0004849
8	2,90	0,005	0,79	0,001	9,293382471	0,0008103
9	2,90	0,005	0,72	0,001	11,1882716	0,001338
10	2,90	0,005	0,82	0,001	8,625817965	0,0006638
Média	2,90	0,005	0,79	0,001	9,87	0,0011502
Desvio Padrão	1,34047E-15		0,308613026		8,769767245	

Tabela 2: Segunda medição manual, onde consta os resultados de tempo e gravidade e suas incertezas. Os dados apresentados foram de acordo com a medição do 2º marcador.

Medição com a (esfera 1): 2º observador						
Teste	Altura h_0 (m)	$\pm\delta h$	Tempo t (s)	$\pm\delta t$	Aceleração g(m/s ²)	$\pm\delta g$
1	2,90	0,005	0,91	0,001	7,003985026	0,0003828
2	2,90	0,005	0,94	0,001	6,564056134	0,0003231
3	2,90	0,005	0,51	0,001	22,29911572	0,0091252
4	2,90	0,005	0,66	0,001	13,31496786	0,002155
5	2,90	0,005	0,61	0,001	15,58720774	0,003334
6	2,90	0,005	0,72	0,001	11,1882716	0,001338
7	2,90	0,005	0,72	0,001	11,1882716	0,001338
8	2,90	0,005	0,54	0,001	19,89026063	0,006603
9	2,90	0,005	0,69	0,001	12,18231464	0,001688
10	2,90	0,005	0,64	0,001	14,16015625	0,0025542
Media	2,90	0,005	0,69	0,001	13,34	0,0028841
Desvio Padrão	1,34047E-15		0,417909081		14,99841376	

Utilizamos as equações (3) e (5) para acharmos a aceleração e a incerteza de “g” respectivamente. Os cálculos foram feitos através do Excel incluindo o valor médio de cada resultado obtido e as incertezas de cada medida, o mesmo foi feito nas demais tabelas.

Para as segundas medidas utilizou-se de um retângulo de madeira com massa de 48,38g, com as seguintes proporções: comprimento de 8,7cm, altura de 2,7cm e largura de 2,98cm. O mesmo foi liberado da mesma altura da esfera e seguimos o mesmo procedimento realizado anteriormente com a esfera, para verificar as diferentes medidas de tempo entre os marcadores e conseguirmos um valor médio entre as observações. Resultados mostrados na tabela 3 e 4.

Tabela 3: Dados coletados utilizando o retângulo de madeira, dados apresentados de acordo com a medição do 1º marcador, constados na tabela acima.

Primeira medição com o bloco de madeira usando uma trena e cronômetro de celular						
Teste	Altura h_0 (m)	$\pm\delta h$	Tempo t (s)	$\pm\delta t$	Aceleração $g(m/s^2)$	$\pm\delta g$
1	2,90	0,005	0,78	0,001	9,533201841	0,0008677
2	2,90	0,005	0,61	0,001	15,58720774	0,003334
3	2,90	0,005	0,66	0,001	13,31496786	0,002155
4	2,90	0,005	0,61	0,001	15,58720774	0,003334
5	2,90	0,005	0,58	0,001	17,24137931	0,0044183
6	2,90	0,005	0,60	0,001	16,11111111	0,0036557
7	2,90	0,005	0,64	0,001	14,16015625	0,0025542
8	2,90	0,005	0,68	0,001	12,5432526	0,0018287
9	2,90	0,005	0,57	0,001	17,85164666	0,0048708
10	2,90	0,005	0,50	0,001	23,2	0,0102118
Media	2,90	0,005	0,62	0,001	15,51	0,003723
Desvio Padrão	1,34047E-15		0,191734191		8,162717818	

Tabela 4: Dados coletados utilizando o retângulo de madeira, dados apresentados de acordo com a medição do 2º marcador.

Segunda medição com o bloco de madeira usando uma trena e cronômetro de celular						
Teste	Altura h_0 (m)	$\pm\delta h$	Tempo t (s)	$\pm\delta t$	Aceleração $g(m/s^2)$	$\pm\delta g$
1	2,90	0,005	0,68	0,001	12,5432526	0,0018287
2	2,90	0,005	0,87	0,001	7,662835249	0,0004849
3	2,90	0,005	0,70	0,001	11,83673469	0,0015602
4	2,90	0,005	0,57	0,001	17,85164666	0,0048708
5	2,90	0,005	0,56	0,001	18,49489796	0,0053799
6	2,90	0,005	0,71	0,001	11,50565364	0,0014439
7	2,90	0,005	0,80	0,001	9,0625	0,0007574
8	2,90	0,005	0,69	0,001	12,18231464	0,001688
9	2,90	0,005	0,77	0,001	9,782425367	0,0009301
10	2,90	0,005	0,65	0,001	13,72781065	0,0023444
Mediã	2,90	0,005	0,70	0,001	12,47	0,0021288
Desvio Padrão	1,34047E-15		0,284917142		10,43014535	

As medidas foram feitas manualmente com a esfera de aço e o retângulo de madeira. Medimos o tempo com um cronômetro de celular e a altura que o corpo foi abandonado, com uma trena. Calculamos também uma margem de erro mostrado anteriormente nas descrições e também nas tabelas, pois os dados obtidos apresentam erros humanos e dos próprios equipamentos, nos dando um resultado com precisão razoável.

O experimento feito com equipamento de queda livre foi realizado medidas com duas esferas de massas e diâmetros diferentes utilizando um equipamento específico para a experiência (o equipamento de queda livre), mostrado anteriormente na figura 2. Este equipamento dispõe de sensores e cronômetro, medindo automaticamente o tempo de queda da esfera, assim adquirindo resultados mais precisos. Para calcular a incerteza do volume da esfera utilizamos a seguinte equação;

$$\delta^2_V = \left(\pi \frac{d^2}{4}\right)^2 \delta^2 h + \left(\pi \frac{d}{2}\right)^2 \delta^2 d \quad (6)$$

A partir da equação (6), realizamos os seguintes cálculos, para a esfera com diâmetro igual a 1,6mm, assim, obtemos:

$$\delta_V = \sqrt{\left(\pi \frac{d^2}{4}\right)^2 \delta^2 h + \left(\pi h \frac{d}{2}\right)^2 \delta^2 d}$$

$$\delta_V = \sqrt{\left(3,14 \frac{(1,6)^2}{4}\right)^2 (0,01)^2 40 + \left(3,14(40) \frac{(1,6)}{2}\right)^2 (0,01)^2 (1,6)}$$

$$\delta_V = \sqrt{0,017} \quad \therefore \delta_V = (0,131 \pm 0,001)V$$

Os cálculos também foram feitos para a esfera de 1,9mm, onde foi obtido o seguinte resultado

$$\delta_V = \sqrt{\left(\pi \frac{d^2}{4}\right)^2 \delta^2 h + \left(\pi h \frac{d}{2}\right)^2 \delta^2 d}$$

$$\delta_V = \sqrt{\left(3,14 \frac{(1,9)^2}{4}\right)^2 (0,01)^2 40 + \left(3,14(40) \frac{(1,9)}{2}\right)^2 (0,01)^2 (1,9)}$$

$$\delta_V = \sqrt{0,0338} \quad \therefore \delta_V = (0,184 \pm 0,001)V$$

O mesmo procedimento de repetição do experimento realizado nas medições manuais, também foram utilizada nesse experimento com o equipamento de queda livre. Os dados obtidos com ajuda do equipamento foram registrados na tabela 5 e 6 referente a esfera 1 e 2, respectivamente.

Primeiramente realizamos as medições com uma esfera (esfera 1) de 16mm e peso de 16,75g, regulamos a altura na haste do equipamento em 40cm, prendemos a esfera na base móvel com a ajuda do imã, observamos se o cronômetro estava zerado e logo depois pressionamos o gatilho, fazendo com que a esfera caísse, e que ao tocar na base inferior fez parar o cronômetro, mostrando o tempo de queda. A tabela 5 mostra os resultados obtidos para esse procedimento.

Tabela 5: Dados obtidos com a utilização do equipamento de laboratório, utilizando a esfera de 16mm.

Medição com a (esfera 1) usando aparelho de queda livre						
Teste	Altura h_0 (m)	$\pm\delta h$	Tempo t (s)	$\pm\delta t$	Aceleração g(m/s ²)	$\pm\delta g$
1	0,40	0,005	0,284	0,001	9,918666931	0,0202509
2	0,40	0,005	0,284	0,001	9,918666931	0,0202509
3	0,40	0,005	0,284	0,001	9,918666931	0,0202509
4	0,40	0,005	0,284	0,001	9,918666931	0,0202509
5	0,40	0,005	0,285	0,001	9,849184364	0,0199344
6	0,40	0,005	0,284	0,001	9,918666931	0,0202509
7	0,40	0,005	0,285	0,001	9,849184364	0,0199344
8	0,40	0,005	0,284	0,001	9,918666931	0,0202509
9	0,40	0,005	0,284	0,001	9,918666931	0,0202509
10	0,40	0,005	0,284	0,001	9,918666931	0,0202509
Media	0,40	0,005	0,28	0,001	9,90	0,0201876
Desvio Padrão	1,67558E-16		0,001250778		0,086907234	

O mesmo procedimento que foi feito com a esfera de 16mm, foi feito com a esfera 2 de 19mm e peso de 18,82g, utilizamos também a mesma altura e repetimos o procedimento de queda para obtermos um valor médio do mesmo modo que foi realizado anteriormente.

Tabela 6: Dados obtidos com a utilização do equipamento de laboratório, utilizando a esfera de 19mm.

Medição com a (esfera 2) usando aparelho de queda livre						
Teste	Altura h0 (m)	$\pm\delta h$	Tempo t (s)	$\pm\delta t$	Aceleração g(m/s ²)	$\pm\delta g$
1	0,40	0,005	0,285	0,001	9,849184364	0,0199344
2	0,40	0,005	0,285	0,001	9,849184364	0,0199344
3	0,40	0,005	0,285	0,001	9,849184364	0,0199344
4	0,40	0,005	0,285	0,001	9,849184364	0,0199344
5	0,40	0,005	0,285	0,001	9,849184364	0,0199344
6	0,40	0,005	0,285	0,001	9,849184364	0,0199344
7	0,40	0,005	0,285	0,001	9,849184364	0,0199344
8	0,40	0,005	0,285	0,001	9,849184364	0,0199344
9	0,40	0,005	0,285	0,001	9,849184364	0,0199344
10	0,40	0,005	0,284	0,001	9,918666931	0,0202509
Media	0,40		0,28		9,86	0,0199661
Desvio Padrão	1,67558E-16		0,000424264		0,029478956	

Durante a construção de todos os cálculos e as tabelas onde registrou-se os dados e os resultados coletados, utilizamos apenas a planilha do Excel. A partir da construção, elaboramos as tabelas mostrando altura de liberação e tempo que o corpo levou para percorrer a distância desejada e as incertezas previstas nos cálculos, mostrando ao final de cada tabela os valores médio de tempo e gravidade obtidos pelos marcadores. Se observamos todas as tabelas e os dados nelas descritos podemos ver que os resultados obtidos com a utilização do equipamento de medição de queda livre foi mais precisos do que os dados obtidos manualmente, evidentemente que o erro observado é dado por várias procedimentos, onde de fato ocorreram imprecisões humanas durante as medidas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O movimento de queda-livre tem como sua principal característica a aceleração gravitacional que o corpo possui quando está nesse tipo de movimento. Através dos resultados obtidos pudemos determinar o valor da gravidade local utilizando as equações descritas, assim como também utilizamos uma para calcular a velocidade. O resultado obtido em laboratório

nas variadas observações do experimento apresentou uma boa aproximação com o valor da gravidade que Galileu determinou.

Se observamos os resultados podemos concluir que utilizando o equipamento de medição do tempo de queda (figura 2), a margem de erro é bem menor do que os resultados medidos manualmente, esses erros teriam como causas; um simples erro do cronômetro utilizado, tempo de reação que levamos para acionar o botão do cronometro para iniciar e parar o tempo, o tempo de percepção em ver o objeto caindo e cronometrar o tempo de queda, esse e outros fatores afetam a precisão dos resultados encontrados. Seria muito difícil conseguir valores ideais para a gravidade de acordo com a forma que o experimento foi realizado manualmente.

Esperávamos que a aceleração fosse igual a definida teoricamente, mas como na prática além de não podermos eliminar a existência do atrito do ar, os equipamentos não são exatos, e também ocorre os erros humanos, e também levando em consideração que a gravidade varia de acordo com a altitude e o local onde foi realizado o experimento, é impossível realizar o experimento para determinar os resultados precisamente iguais aos teoria descrita por Galileu. Porém obtivemos resultados satisfatórios apesar das inúmeras variáveis de erro que interferiram durante o experimento.

REFERÊNCIAS

HALLIDAY, David, 1916 – **Fundamentos de física, volume 2: gravitação, ondas e termodinâmica**/Halliday, Resnick, Jearl Walker; tradução e revisão técnica Ronaldo Sérgio de Biasi. – [Reimpr.]. – Rio de Janeiro: LTC, 2011. 4v

YOUNG, Hugh D. **Física II: Termodinâmica e ondas**/Young e Freedman; [colaborador A. Lewis Ford]; tradução Cláudia Santana Martins; revisão técnica Adir Moysés Luiz. – 12. Ed. – São Paulo: Addison Wesley, 2008.

NUSSENZVEIG, H. Moysés. **Curso de Física Básica – Vol. 1**, 328 pp. 4a Edição. Editora Edgard Blucher, 2002.