

Estudo experimental para a análise da gravidade através da queda livre

**Beatriz Alves Lima ¹; Jaiane dos Santos Ferreira ²;
Joice Vieira dos Santos ³ & Juliana Gomes da Silva ⁴**

Centro Universitário Norte do Espírito Santo da Universidade Federal do Espírito Santo.

¹beatriz.a.lima@gmail.com ²jaiane.ferreira@edu.ufes.br ³joice.v.santos@edu.ufes.br

⁴juliana.silva.97@edu.ufes.br

RESUMO

O presente trabalho estuda o movimento dos corpos em queda livre afim estimar o valor da aceleração da gravidade. **Dados teóricos** foram utilizados como base e com auxílio de equipamentos de laboratoriais como: um disparador manual e um conjunto de queda livre (Cidepe EQ143) foi possível a realização do experimento de Galileu Galilei. Com o propósito de determinar a aceleração da **gravidade local, os dados de descolamento do corpo e o tempo que ele leva para alcançar o solo,** quando solto a uma determinada altura foram analisados. Para a determinação dos resultados, foi adotado dois métodos de verificação sendo o não linearizado e o linearizado. Alcançando assim valores **coerentes com o valor teórico estimado** da aceleração da gravidade, dado que a diferença encontrada está **dentro da incerteza calculada.**

Palavras-chave: Queda livre, aceleração da gravidade, experimento Galileu Galilei.

ABSTRACT:

The present work studies the movement of bodies in free fall in order to estimate the value of the acceleration due to gravity. Theoretical data were used as a basis and with the aid of laboratory equipment such as: a manual trigger and a free fall set (Cidepe EQ143) it was possible to carry out Galileo Galilei's experiment. For the purpose of determining the local gravity acceleration, the body's detachment data and the time it takes to reach the ground, when released at a given height of the displacement foramen. To determine the results, two verification methods were adopted, the non-linearized and the linearized. Thus reaching values consistent with the estimated theoretical value of gravity acceleration, given that the difference found is within the calculated uncertainty.

Keywords: Free fall, acceleration of gravity, Galileo Galilei experiment.

INTRODUÇÃO

Na Física, o ramo responsável pelo estudo dos movimentos é a Mecânica, englobando o movimento de Queda Livre, que é compreendido da seguinte maneira, um objeto é solto a partir do repouso. Os aspectos da queda livre foram estudados por inúmeros cientistas desde os séculos passados. Relatos apontam Aristóteles (384-322 a.C.) como o primeiro a estudar a respeito desse movimento. O mesmo afirmava que, se dois corpos de massas distintas fossem soltos de um local em que a altura fosse a mesma, o corpo mais pesado chegaria primeiro ao solo. Entretanto, muito tempo depois, em torno do século XVII, o astrônomo Galileu Galilei (1564-1642) refutou o pensamento Aristotélico, através do experimento denominado queda livre, onde desconsiderando resistência do ar, foram soltas alto de uma torre ao mesmo tempo, duas bolas de massas diferentes e ambas tocaram o solo ao mesmo tempo. Constatou-se que a afirmação de Aristóteles não se aplicava, e notou-se que tempo de queda não depende da massa do objeto (NUSSENZVEIG, 2013, p.55).

Figura 1 - Experiência de Galileu



Fonte: Alves e López (2019)

Desse modo, percebe-se que, o que diferencia os lançamentos é a sua velocidade inicial. Assim, para encontrar o tempo de queda, utiliza-se a fórmula do movimento uniformemente variado, responsável por obter o espaço em um movimento onde existe mudança de velocidade, definida como:

$$S = S_0 + v_0.t + \frac{a.t^2}{2} \quad (1)$$

Sendo S_0 a posição inicial e v_0 velocidade inicial do movimento, consideramos a aceleração a como a gravidade, temos a posição S como a altura do objeto e t como o tempo.

Entretanto, não existe a posição inicial e consequentemente não há v_0 , porque o objeto é solto e não lançado. Considerando então $v_0=0$, temos o objeto caindo verticalmente, seu tempo de queda dependerá somente da altura em que se abandona o corpo. Logo pode-se contrair a fórmula apresentada acima, e a nova equação será representada dessa forma:

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

Galileu Galilei utilizou experimentação como método de investigação, para ele as ciências e a realidade devem ser testadas e comprovadas como fundamentos lógicos. Assim, o estudo experimental visa analisar o movimento vertical que ocorre ao se soltar um corpo e deixando-o cair livremente, a fim de se estudar e verificar o movimento de queda livre.

MATERIAIS E MÉTODOS

Descrição dos equipamentos

Para a realização do experimento a fim de se medir a taxa de velocidade adquirida pelo objeto na queda. Os dados foram adquiridos a distância através de um vídeo, as medidas de tempo e distância foram coletadas por meio da utilização de sensores fotossensíveis e pelo professor responsável pela prática experimental.

Para a prática do experimento foram utilizados: um computador para aquisição dos dados; uma barra vertical enumerada com medidas de distâncias; dois sensores fotossensíveis, sendo o primeiro fixo e responsável pelo acionamento do cronômetro e o segundo móvel, responsável por fazer as alterações de distâncias e o desligamento do cronômetro, para medir os tempos gastos entre duas posições sobre a barra; uma esfera de aço; um disparador eletroímã; um disparador manual e um conjunto de queda livre (Cidepe EQ143). Equipamentos estes que podem ser observados na figura 1.



Figura 2 - Aparelho utilizado para delimitar as distancias de percurso da esfera com sensores de infravermelho utilizados na prática experimental

Etapa experimental do Movimento queda livre

Primeiramente a estrutura de queda livre se encontra posicionado verticalmente, possui um disparador eletroímã que dará o impulso na esfera de aço ao ser pressionado, fazendo a esfera entrar em queda livre, com uma velocidade que se mantém constante devido o movimento ser acelerado.

Os tempos serão tomados pelos sensores fotossensíveis quando a esfera passar pelo primeiro sensor a contagem será iniciada e quando a esfera passar pelo segundo sensor a contagem é finalizada. Assim os sensores irão se comunicar com o computador e marcaram os tempos T de passagem da esfera por uma determinada distancia X . A distância é marcada no equipamento de escala milimetrada, o primeiro sensor é posicionado no 0 mm onde ele permanecerá fixo, ao longo do experimento serão medidas 8 distâncias diferentes entre 0 mm a 800 mm onde o segundo sensor retrocederá 100 mm o seu posicionamento, diminuindo a distância entre o primeiro sensor.

RESULTADOS

Como base nos procedimentos experimentais, absteve-se dados, que foram utilizados para a determinação do valor da aceleração da gravidade que sobre a esfera quando e abandona e cai em posição vertical. Para isso dois métodos de foram utilizados para esta verificação.

ETAPA 1 – Não linearizado

Este método consiste em pegar os dados experimentais e após a elaboração gráfico, ajusta-lo a melhor equação que se ajusta ao conjunto de medidas proposto.

Considerando que a partir da literatura temos a equação horária do movimento para MRUV (Queda livre):

$$S(t) = S_0 + V_0 \cdot t + \frac{g \cdot t^2}{2} \quad (2)$$

Sendo a equação reduzida de:

$$S(t) = \frac{g \cdot t^2}{2} \quad (2-1)$$

Com o experimento obtemos dos dados da tabela 1. Onde S(m) é a distância percorrida pela esfera convertida em metros e $\Delta S(m)$ é a incerteza, considerando condição do ambiente e imprecisão do equipamento. Temos também o t(s) tempo de queda da esfera correspondente a sua distância e o $\Delta t(s)$ sendo o erro de imprecisão do cronômetro.

S (m)	$\Delta S(m)$	t(s)	$\Delta t(s)$
0,100	0,04	0,128	0,09
0,200	0,04	0,188	0,09
0,300	0,04	0,234	0,09
0,400	0,04	0,268	0,09
0,500	0,04	0,304	0,09
0,600	0,04	0,334	0,09
0,700	0,04	0,361	0,09
0,800	0,04	0,385	0,09

Tabela 1 – Dados da distância (S) x Tempo (t)

Com os dados do experimento expresso na tabela 1, foi traçado um gráfico um gráfico que relaciona as medidas de distância x tempo, que pode ser analisado na figura 2 abaixo.

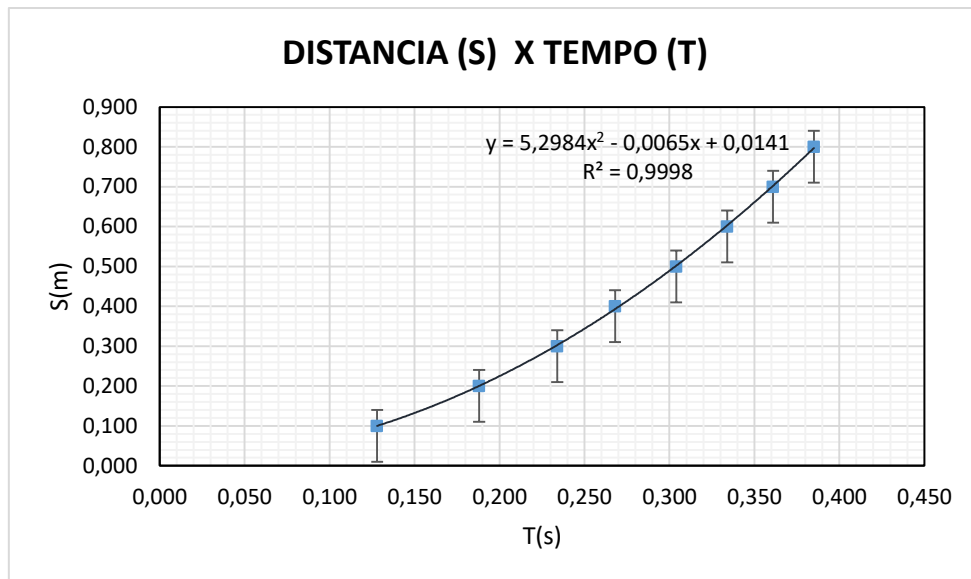


Figura – 2 Gráfico distância x tempo ajuste polinomial quadrático da reta

O gráfico apresenta uma equação da reta cujo modelo pode ser observado abaixo:

$$y(x) = ax^2 - bx + c \quad (2-2)$$

O valor que acompanha (x^2) é o coeficiente angular esse valor é gerado pelo computador utilizando o método dos mínimos quadrados, sendo um método numérico de otimização para o ajuste de um conjunto de dados qualquer que quando multiplicado por 2 gerar o valor da gravidade.

$$g = 2 * ax^2 \quad (2-3)$$

$$g = 10,596 \text{ m/s}^2$$

Considerando Δg a incerteza da gravidade de:

$$\Delta g = 2 * ax^2 * \left\{ \left| \frac{\langle \Delta S \rangle}{\langle S \rangle} + \frac{\langle \Delta t \rangle}{\langle t \rangle} \right| \right\} \quad (2-4)$$

$$\Delta g = 1,466 \text{ m/s}^2$$

$$g = 10,60 \pm 1 \text{ m/s}^2$$

Outros dados também obtidos foi a velocidade e posição que inicialmente foi considerado zero. E a partir da equação obtêm-se valores mais precisos, destacando o erro experimental que foi encontrado $R^2 = 0,9998$.

$$V_0 = 0,0065 \text{ m/s}$$

$$S_0 = 0,0141 \text{ m}$$

ETAPA 2 – LINEARIZAÇÃO DE CURVA

O método de linearização consiste em encontrar a aproximação linear de uma equação de função não linear. Para essa mudança é necessário que o tempo $t^2(s)$ obtido no experimento seja elevado ao quadrado, bem com a sua incerteza $\Delta t^2(s)$. Os dados convertidos podem ser observados na tabela 2 abaixo.

S(mm)	$\Delta S(s)$	t(s)	$\Delta t(s)$	$t^2(s)$	$\Delta t^2(s)$
0,100	0,04	0,128	0,09	0,016	0,001
0,200	0,04	0,188	0,09	0,035	0,003
0,300	0,04	0,234	0,09	0,055	0,005
0,400	0,04	0,268	0,09	0,072	0,006
0,500	0,04	0,304	0,09	0,092	0,008
0,600	0,04	0,334	0,09	0,112	0,010
0,700	0,04	0,361	0,09	0,130	0,012
0,800	0,04	0,385	0,09	0,148	0,013

Tabela 2 – Dados da distância (S) x Tempo (t^2)

Inicialmente para a elaboração do gráfico da distância pelo tempo linearizado da distância pelo tempo, houve a mudança de variável obtendo - se assim as devidas equações:

$$T = t^2$$

$$S(T) = \frac{g}{2} * T \quad (3)$$

Com os dados, alterados o gráfico 2 de distância pelo tempo foi traçado, com o ajuste linear, podendo ser analisado na figura 3 abaixo.

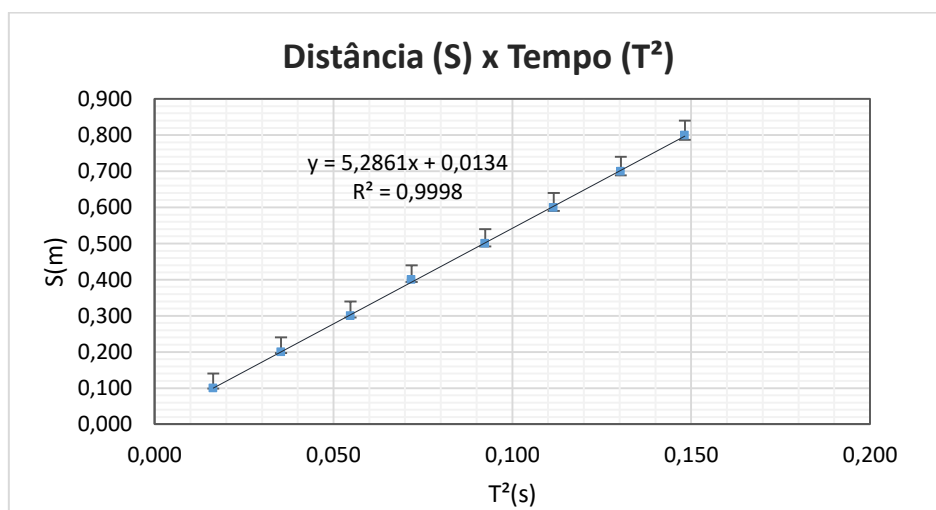


Figura – 3 Gráfico distância x tempo ajuste linear da reta

Encontrando a inclinação da reta (α) e ainda o coeficiente angular da equação $\tan(\alpha)$

$$\tan(\alpha) = \frac{g}{2} * T \quad (3-2)$$

$$g = 2 * \tan(\alpha) \quad (3-2)$$

Na equação linear da reta temos o coeficiente linear igual à 0,0134 e o valor que acompanha (x) é o coeficiente angular, valores estes gerado pelo computador que quando multiplicado por 2 obtém o valor da gravidade:

$$g = 10,57 \text{ m/s}^2$$

Com uma incerteza de:

$$\Delta g = 2 * \tan(\alpha) * \left\{ \left| \frac{<\Delta S>}{<S>} + \frac{<\Delta T>}{<T>} \right| \right\} \quad (3-3)$$

$$\Delta g = 2,72 \text{ m/s}^2$$

Assim temos a aceleração da gravidade que atua no movimento da esfera no valor de

$$g = 10,6 \pm 3 \text{ m/s}^2$$

Desse modo, os valores de gravidade obtidos pelo experimento realizado são coerentes com o valor da literatura. Nota-se uma diferença entre os valores, entretanto está situada dentro da incerteza calculada para esse experimento, comprovando assim, a veracidade dos resultados atingidos.

CONCLUSÃO:

O objetivo do trabalho foi atingido, dados os resultados encontrados, podemos calcular o valor da gravidade local utilizando as equações propostas e a ferramenta do Excel. Os valores obtidos são coerentes com o valor da literatura da aceleração da gravidade. O experimento foi realizado de dois métodos, não linearizando e linearizando. Na primeira etapa gráfico e tabela foram elaborados com os dados fornecidos pelo experimento, ao calcular a aceleração da gravidade o valor encontrado $g = 10,60 \pm 1 \text{ m/s}^2$. No método de linearização o tempo e a sua incerteza obtida no experimento foram elevados ao quadrado, afim de facilitar as determinações da lei da física, ao calcular a aceleração da gravidade o valor encontrado $g = 10,6 \pm 3 \text{ m/s}^2$. Assinalando que há uma progressão acelerada sobre os valores do deslocamento vertical, considerando as incertezas encontradas, obteve-se uma aproximação com o valor da gravidade da literatura.

REFERÊNCIAS

HELERBROCK, Rafael. **Queda livre**; *Brasil Escola*, 2021. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/queda-livre.htm>>. Acesso em 9 de agosto de 2021.

MUNDO EDUCAÇÃO. **Queda Livre**, 2021. Disponível em: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/queda-livre.htm>>. Acesso em: 10 de agosto de 2021.

NUSSENZVEIG, H. Moysés. **Curso de Física Básica** – Vol. 1, 5ª ed. São Paulo: Edgard Blucher LTDA, 2013. 55 p.

W. R. S. Alves e J. V. López. **Galileu E O Experimento Da Torre De Pisa**. Sorocaba: Universidade Federal de São Carlos, fevereiro de 2019.