



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO INSTITUTO FEDERAL DO PIAUÍ
UNIVERSIDADE ABERTA DO BRASIL/CAPES
COORDENAÇÃO DO CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA
MODALIDADE A DISTÂNCIA**

MARIA GABRIELLE DA SILVA SOUSA

**DETERMINAÇÃO DO VALOR DA ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE
ATRAVÉS DO PÊNDULO SIMPLES NO MIRANTE DO GRITADOR NA
CIDADE DE PEDRO II - PI**

BURITI DOS LOPES-PI

2023

MARIA GABRIELLE DA SILVA SOUSA

DETERMINAÇÃO DO VALOR DA ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE
ATRAVÉS DO PÊNDULO SIMPLES NO MIRANTE DO GRITADOR NA
CIDADE DE PEDRO II - PI

Trabalho de Conclusão de Curso (artigo científico) apresentado como exigência parcial para obtenção do diploma do Curso de Licenciatura em Física do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, *Campus Teresina Central*.

Orientador(a): Prof(a). Me. Wilton de Carvalho Lopes.

BURITI DOS LOPES-PI

2023

DETERMINAÇÃO DO VALOR DA ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE ATRAVÉS DO PÊNDULO SIMPLES NO MIRANTE DO GRITADOR NA CIDADE DE PEDRO II - PI

Maria Gabrielle da Silva Sousa¹
Wilton de Carvalho Lopes²

RESUMO

O presente artigo descreve um experimento para determinar o valor da gravidade utilizando um pêndulo simples. O método envolve medir o período de oscilação do pêndulo para diferentes comprimentos de corda e, em seguida, calcular a aceleração da gravidade local. Destacamos a aplicação desta atividade experimental na promoção da integração da teoria à prática, com intuito de incentivar o envolvimento com a experimentação no ensino de Física. O estudo teve como lócus o Mirante do Gritador, um dos cartões postais da cidade de Pedro II. O experimento teve uma fase desenvolvida em um laboratório do instituto federal do Piauí-campus Pedro II, com a montagem do pêndulo. Foram realizadas várias medidas para diferentes comprimentos de corda, registrando o tempo de oscilação com um cronômetro. Os resultados obtidos foram consistentes, sendo encontrado um valor médio para a aceleração da gravidade no Morro do Gritador de $g = 9,875 \text{ m/s}^2$ representando um erro relativo de 0,99% em relação ao valor teórico, que é de $9,778 \text{ m/s}^2$.

Palavras-chave: Física; Gravidade; Mirante do Gritador; Pêndulo simples.

ABSTRACT

This article describes an experiment to determine the value of gravity using a simple pendulum. The method involves measuring the pendulum's period of oscillation for different string lengths and then calculating the local acceleration due to gravity. We highlight the application of this experimental activity in promoting the integration of theory and practice, with the aim of encouraging involvement with experimentation in Physics teaching. The experiment had a phase developed in a laboratory of the federal institute of Piauí-campus Pedro II, with the assembly of the pendulum. Several measurements were made for different lengths of rope, recording the oscillation time with a stopwatch. The results obtained were consistent, with an average value for the acceleration of gravity at Morro do Gritador of $g = 9.875 \text{ m/s}^2$ representing a relative error of 0.99% in relation to the theoretical value, which is 9.778 m/s^2 .

Keywords: Physical; Gravity; Mirante do Gritador; Simple pendulum.

Data de aprovação: 06/ 05/ 2023

¹ Graduanda do curso de Licenciatura em Física, do Instituto Federal do Piauí/ Universidade aberta do Brasil, campus Teresina Central, Polo de apoio presencial Buriti dos Lopes - PI. E-mail: mariagaby2060@gmail.com

² Prof. Esp. Me. Doutorando em Ciências dos Materiais pela Universidade Federal do Piauí. Professor no Instituto Federal do Piauí/ campus Pedro II - PI wcarvalholopes@ifpi.edu.br

1. INTRODUÇÃO

A história da gravidade remonta a milhares de anos atrás, quando os antigos gregos experimentaram a fazer observações sobre o movimento dos corpos celestes no céu. Eles acreditavam que os planetas e estrelas eram governados por leis divinas e que sua trajetória era uma manifestação da vontade dos deuses. Foi somente no século XVII que Isaac Newton formulou uma teoria da gravidade que explicava o movimento dos corpos celestes de maneira precisa e matemática. Newton demonstrou que a força da gravidade da Terra é responsável pela queda dos objetos e pelo movimento dos planetas em torno do Sol.

Existem vários experimentos que podem ser realizados para determinar o valor da gravidade, todavia, esses experimentos apresentam diferenças em suas metodologias no que se refere a exatidão dos resultados bem como a utilização dos recursos de equipamentos. Muitas vezes, esses aspectos estão relacionados com as limitações físicas para a realização daquele experimento (SOUZA; CARDOSO, 2020). Uma forma simples de determinar a aceleração da gravidade é com a utilização do pêndulo simples, de fácil execução este experimento pode ser realizado com recursos de laboratório, simuladores assim como materiais de baixo custo e de fácil aquisição encontrados no dia a dia, visto que o mesmo é descrito como um ponto de massa suspenso por uma corda ou haste inextensível e de massa desprezível, portanto, além disso basta ter uma trena e um cronômetro para realizar o experimento. Nesse sentido, Basse (2019) em seu trabalho apresenta uma sequência de atividades relacionadas a utilização dos pêndulos, suas características e aplicações. O autor ressalta a importância da utilização do experimento como intervenção do produto educacional que visa promover um aprendizado não convencional para os alunos.

A aceleração da gravidade é uma grandeza física tratada durante todo ensino médio como uma constante de valor $9,81 \text{ m/s}^2$ e, na maioria dos livros didáticos é feito uma aproximação para 10 m/s^2 para facilitar nas resoluções de problemas (DUTRA; SOUZA, 2019). No entanto, o valor da aceleração da gravidade da terra varia de acordo com a altitude e latitude (LOPES, 2008). Discussões a respeito da variação da aceleração da gravidade nas proximidades da terra em relação à altitude e latitude é um tema ainda pouco abordado nos materiais a nível de ensino médio, passando a ideia de um conhecimento estabelecido, uma verdade absoluta. Os parâmetros curriculares nacionais complementares (PCN+) afirmam que:

É indispensável que a experimentação esteja sempre presente ao longo de todo o processo de desenvolvimento das competências em Física, privilegiando-se o fazer, manusear, operar, agir, em diferentes formas e

níveis. É dessa forma que se pode garantir a construção do conhecimento pelo próprio aluno, desenvolvendo sua curiosidade e o hábito de sempre indagar, evitando a aquisição do conhecimento científico como uma verdade estabelecida e inquestionável. (BRASIL, 2006).

Assim, faz-se necessário não apenas a realização do experimento, mas que articulem, compreendam e interpretem os procedimentos que são à base dos processos experimentais. Muitos estudantes chegam no ensino superior com muita dificuldade em admitir que a aceleração da gravidade não é uma constante (LOPES, 2008).

Nessa perspectiva, o presente trabalho buscou através da aplicabilidade do experimento do pêndulo simples determinar o valor da aceleração da gravidade no Mirante do gritador na cidade de Pedro II - PI.

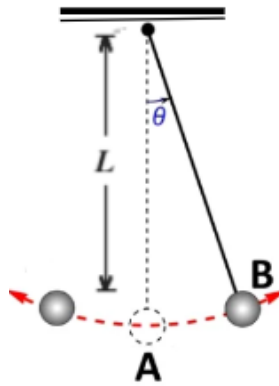
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Galileu Galilei (1564-1642) desenvolveu os primeiros estudos relacionados aos movimentos pendulares, a história diz que Galileu descobriu o isocronismo do pêndulo quando assistia uma missa na Catedral de Pisa observou a oscilação de um candelabro suspenso do teto da igreja, ele comparou os períodos dessas oscilações contando sua própria pulsação. (MARIA; BASSALO, [s.d.]). No entanto, a formulação correta das leis do pêndulo só foi apresentada pelo holandês Christiaan Huygens (1629-1695), que demonstrou matematicamente que a trajetória cicloidial é a que torna o período do pêndulo independente de sua amplitude. Silveira (2006) apresenta um breve estudo sobre as primeiras determinações da aceleração gravitacional. O autor descreve que as primeiras estimativas foram baseadas no experimento de queda livre dos corpos, sendo obtidos os valores de 4m/s^2 por Galileu e 8m/s^2 o padre francês Marin Mersenne (1588-1648). Segundo o autor, Huygens usando um pêndulo de cerca de 15,7 cm, que realizou 4464 pequenas oscilações (oscilações de pequena amplitude) em uma hora, ele determinou a aceleração gravitacional como sendo de aproximadamente $9,5\text{ m/s}^2$.

O pêndulo simples é um sistema composto por uma massa desprezível presa a um fio inextensível que oscila em torno de um ponto fixo. A Figura 1 traz a demonstração de um pêndulo simples cujo L corresponde ao seu comprimento, quando afastado de sua posição de equilíbrio (situação A) e solto (por um ângulo de acordo com a situação B), a massa é livre para oscilar em torno do ponto de equilíbrio em um plano vertical ficando sujeita à força restauradora causada pela gravidade. O movimento é periódico, que corresponde ao período do tempo gasto para completar uma oscilação, ou seja, o movimento de ida e volta (DUTRA; SOUZA, 2019).

Para pequenas oscilações $\theta < 10^\circ$, o período do pêndulo simples é independente do ângulo, dependendo somente do comprimento L do fio e do valor g da gravidade.

Figura 1 - Pêndulo simples



Fonte: Autoria própria (2023)

O período (T) de oscilação de um pêndulo simples é dado por:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (1)$$

onde L representa o comprimento do fio (em metros), T o período da oscilação completa e g é a aceleração da gravidade (m/s^2). A partir dessa visualização, é possível isolar g na equação, obtendo:

$$g = \frac{4\pi^2 L}{T^2} \quad (2)$$

Portanto, para calcular a medição da gravidade utilizando o pêndulo simples, basta medir o comprimento do fio (L) e o período de oscilação (T) do pêndulo e utilizar a equação 2 para obter o valor de g . É importante lembrar que o pêndulo deve ser mantido em um ambiente livre de interferências externas para que as medições sejam mais precisas.

Vale destacar que, “devido à rotação da Terra, a aceleração gravitacional não é a mesma em todos os pontos da superfície terrestre” (Torres et al., 2016, p. 252). Desse modo, considerando a localização do Mirante do gritador de 729 metros de altitude e latitude $04^\circ 25' 29''$ o valor teórico da aceleração da gravidade estimado para o local é de $9,778 \text{ m/s}^2$. A tabela 01 mostra de forma resumida alguns valores da aceleração da gravidade de acordo com a altitude e latitude apresentados por Lopes (2008).

Tabela 1. Variação da aceleração da gravidade em função da altitude e latitude

Altitude	Latitude			
	0°	10°	20°	30°
0	9,780	9,781	9,786	9,793
200	9,779	9,781	9,785	9,792
400	9,779	9,780	9,785	9,792
700	9,778	9,779	9,784	9,791
	(valor previsto)			
750	9,778	9,779	9,784	9,791

Fonte: Adaptada de Lopes (2008)

3. METODOLOGIA

3.1 Tipo de Pesquisa

O percurso metodológico fundamentado na pesquisa é de caráter experimental, baseado na aplicabilidade da utilização do pêndulo simples na discussão em que se diz respeito à determinação da aceleração da gravidade. Para Gil (2007), a pesquisa experimental consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto.

O desenvolvimento de atividades experimentais pode ser uma possibilidade de transição dos modelos tradicionais de ensino para a construção de formas alternativas de ensinar física (ALVES, 2006). Desse modo, destacamos a aplicação desta atividade experimental para promover integração da teoria à prática, com intuito de incentivar o envolvimento com a experimentação no ensino de Física.

3.2 Contextualização da Pesquisa

A realização do experimento foi desenvolvida no Mirante do gritador a 729 metros de altitude e latitude 04° 25' 29", buscou-se verificar aspectos conceituais e procedimentais com o objetivo de determinar o valor da aceleração da gravidade provindo da prática experimental. O Mirante do gritador está localizado a 200 km de Teresina na Serra dos Matões, é um dos mais famosos cartões-postais de Pedro II e atrai turistas de todos os cantos do país.

Inicialmente foi realizado no laboratório de Física do campus IFPI/Pedro II (Figura 2) a montagem do equipamento e o roteiro do experimento. Foi usado o kit EQ024AA, equipamentos adquiridos da empresa CIDEPE (Centro Industrial de Equipamentos de Ensino e Pesquisa), acrescido de esfera metálica de 40g e 140g, um fio de 1,5 mm de espessura com diferentes comprimentos ligando a haste à esfera, uma trena métrica para determinar o comprimento do fio, um multicronômetro digital com 12 funções e cronômetro do celular para a medida de oscilação do pêndulo.

Figura 2. Montagem e testes dos equipamentos no laboratório de Física



Fonte: Acervo do autor

Posteriormente, seguiu-se com a realização do experimento no Mirante (Figura 3) onde foi medido o tempo (T) de 10 oscilações de um pêndulo simples com a variação de comprimento (L) com o ângulo de amplitude em torno de 5° .

Figura 3. Fotos do local da realização do experimento



Fonte: Acervo do autor

Para realizar esse experimento foram seguidos os procedimentos experimentais:

1. Um fio de 1,5 mm foi ajustado no pêndulo inicialmente com 20 cm de comprimento e juntamente com a esfera metálica, e em seguida liberada para oscilar;

2. O período de oscilação da esfera metálica é cronometrado a partir do momento em que ela é solta até que ela complete 10 oscilações;
3. Meça o tempo de 10 oscilações. Repita esses passos três vezes;
4. Determine o período T (s) = $t/10$, onde T é o período de oscilação em segundos, t é o tempo total medido em segundos para 10 oscilações completas, em seguida calcule a média $\frac{T_1+T_2+T_3}{3}$ e anote os resultados na tabela 2;
5. Substitua os valores de T e L (em metros) na equação para obter o valor de g .
6. Realize o mesmo procedimento para um fio de 40 cm, 60 cm, 80 cm, 100 cm e 120 cm de comprimento.

Tabela 2- Medidas do período de oscilação do pêndulo para comprimentos diferentes L do fio.

Comprimento do pendulo (cm) e amplitude $\theta = 5^\circ$	Número de Medidas	Número de Oscilações	Tempo T (s)	Média $\frac{T_1+T_2+T_3}{3}$	$g = \frac{4\pi^2 L}{T^2}$
20	1	10	$T_1 =$		
	2		$T_2 =$		
	3		$T_3 =$		
40	1	10	$T_1 =$		
	2		$T_2 =$		
	3		$T_3 =$		
60	1	10	$T_1 =$		
	2		$T_2 =$		
	3		$T_3 =$		
80	1	10	$T_1 =$		
	2		$T_2 =$		
	3		$T_3 =$		
100	1	10	$T_1 =$		
	2		$T_2 =$		
	3		$T_3 =$		
120	1	10	$T_1 =$		
	2		$T_2 =$		
	3		$T_3 =$		

Fonte: Adaptada (DUTRA; SOUZA, 2019)

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na realização do experimento foram realizadas 3 medidas do tempo de oscilação para cada comprimento do pêndulo, variando de 20 a 120 cm, com uma amplitude de 5° . Foi marcado o tempo Δt gasto pelo pêndulo para executar dez oscilações completas ($n = 10$). O

período T será então: $T = \Delta t/n$. Em seguida foi calculada a média e posteriormente os valores encontrados foram substituídos na equação 2 para obtenção dos valores de g de acordo com a variação de comprimento.

No primeiro experimento (Tabela 3) foi utilizado um fio de 1,5 mm, cronômetro do celular para medição do tempo e uma massa de 140g. O valor da aceleração encontrada foi de 9.896 m/s^2 que representa um erro relativo de 1,21 % quando comparada com valor esperado da aceleração da gravidade para o Morro do Gritador que é de **9,778** m/s^2 (Tabela 1).

Tabela 3. Dados experimentais do pêndulo realizado em uma altitude de 729 m com massa de 140g

Comprimento do pendulo (cm) e amplitude $\theta = 5^\circ$	Número de Medidas	Número de Oscilações	Tempo T(s)	Média $\frac{T_1+T_2+T_3}{3}$	$g = \frac{4 \pi^2 L}{T^2}$
20	1	10	T ₁ = 0,892	0,895	9,847
	2		T ₂ = 0,895		
	3		T ₃ =0,898		
40	1	10	T ₁ = 1,289	1,289	9,494
	2		T ₂ = 1,292		
	3		T ₃ =1,286		
60	1	10	T ₁ = 1,539	1,552	9,823
	2		T ₂ = 1,555		
	3		T ₃ =1,563		
80	1	10	T ₁ = 1,762	1,765	10,127
	2		T ₂ = 1,745		
	3		T ₃ =1,790		
100	1	10	T ₁ = 1,989	1,987	9,989
	2		T ₂ =1,989		
	3		T ₃ =1,985		
120	1	10	T ₁ = 2,160	2,165	10,096
	2		T ₂ = 2,165		
	3		T ₃ =2,172		
Resultado	9,847 + 9,494 + 9,823 + 10,127 + 9,989 + 10,096 = 59,376/6 = 9.896 m/s ²				

Fonte: autoria própria (2023)

No segundo experimento (Tabela 4) utilizamos o mesmo fio utilizado anteriormente com uma massa de 40g, para a medida de oscilação do pêndulo foi usado um multicronômetro digital. O valor da aceleração encontrada foi de 9.875 m/s^2 que comparada ao valor esperado para o local representa um erro relativo de 0,99 %.

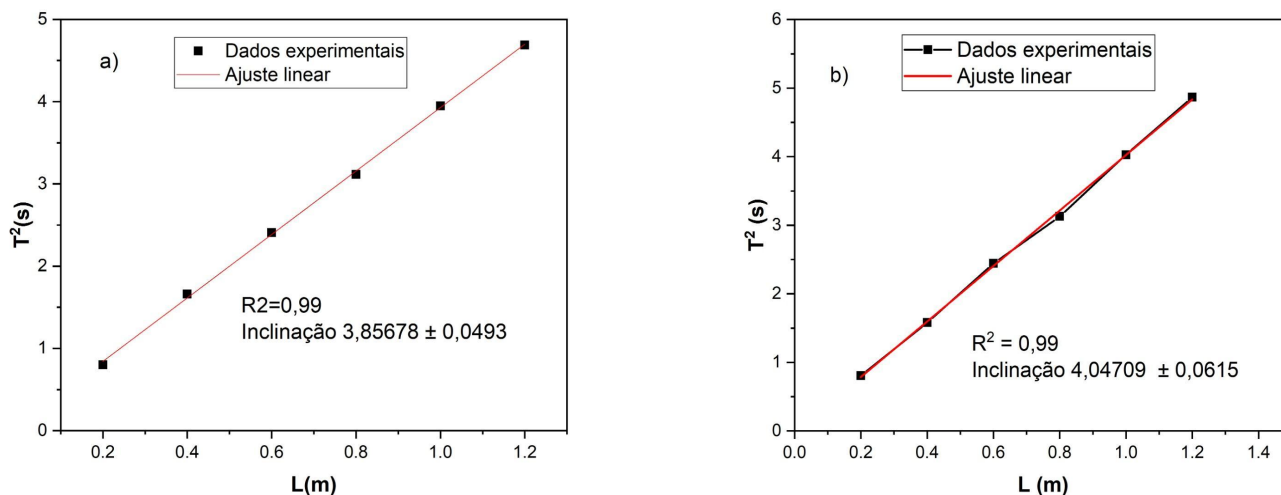
Tabela 4. Dados experimentais do pêndulo realizado em uma altitude de 729 m com massa de 40g

Comprimento do pendulo (cm) e amplitude $\theta = 5^\circ$	Número de Medidas	Número de Oscilações	Tempo T(s)	Média $\frac{T_1+T_2+T_3}{3}$	$g = \frac{4 \pi^2 L}{T^2}$
20	1	10	T ₁ =0,89845	0,89795	9,998
	2		T ₂ =0,89690		
	3		T ₃ =0,8985		
40	1	10	T ₁ =1,25585	1,25745	9,825
	2		T ₂ =1,25660		
	3		T ₃ =1,25990		
60	1	10	T ₁ =1,56240	1,56261	10,086
	2		T ₂ =1,56270		
	3		T ₃ =1,56275		
80	1	10	T ₁ =1,75005	1,76851	9,779
	2		T ₂ =1,75935		
	3		T ₃ =1,79615		
100	1	10	T ₁ =2,0056	2,00730	9,759
	2		T ₂ =2,00550		
	3		T ₃ =2,01080		
120	1	10	T ₁ =2,20730	2,20595	9,806
	2		T ₂ =2,20590		
	3		T ₃ =2,20465		
Resultado	9,998 + 9,825 + 10,086 + 9,779 + 9,759 + 9,806 = 59,253/6 = 9.875 m/s²				

Fonte: Autoria própria (2023)

Através dos resultados experimentais foram construídos os gráficos apresentados na Figura 4, para plotagem foi usado o programa OriginPro 2018. A Figura 4 a) representa o primeiro experimento utilizando celular para medição de tempo e 4 b) representa o segundo experimento utilizando o multicronômetro. Os gráficos plotados apresentam os ajustes e os coeficientes de regressão, a inclinação do ajuste do gráfico T^2 em função do comprimento L é dada por $4\pi^2/g$. Nota-se que ambos apresentam uma tendência linear com coeficientes de regressão de 0,99, indicando que os resultados experimentais foram obtidos dentro dos limites de validade do modelo teórico utilizado no experimento.

Figura 4 - Plotagem dos resultados experimentais: T^2 em função de L



Fonte: Autoria própria (2023)

Em resumo, os resultados dos experimentos mostram que o valor encontrado para a gravidade está próximo do valor esperado, com erros relativos abaixo de 2%. O primeiro experimento demonstrou ser mais impreciso, teve um erro relativo um pouco maior. No segundo experimento, o uso de um multicronômetro digital pode ter levado a uma maior precisão na medição do tempo de oscilação. O tempo de resposta do observador no acionamento do cronômetro, repetido sistematicamente a cada medida, pode conduzir a um valor do período médio diferente do esperado (EMILIA PINTO CARVALHO LANDEIRA et al., 2020). Portanto, é possível que o tempo de reação tenha influenciado os resultados dos experimentos, especialmente no primeiro experimento em que um cronômetro de celular foi utilizado para medir o tempo. Além disso, o uso de diferentes massas na realização dos experimentos também mostrou que a aceleração da gravidade não é dada pela massa do pêndulo, a variação nos valores encontrados pode ser atribuída a outras fontes de erro, como por exemplo, a resistência do ar e erros de medição.

Dutra e Souza (2019) realizaram um experimento similar para o estudo da gravidade inserido no contexto escolar no município de Uruguaiana - RS, obtendo o valor de médio de $g = 9,92 \text{ m/s}^2$, com um erro relativo de 1,30% em relação ao valor teórico corrigido por altitude e latitude para o local. Os resultados obtidos pelos autores também constataram que o período do pêndulo é independente da massa do fio, mas varia com o comprimento do fio. Segundo os autores, o uso da experimentação ajudou a desenvolver o espírito científico dos estudantes e tornou o processo de aprendizagem mais dinâmico e estimulante. Nessa perspectiva, conclui-se que a experimentação desempenha um papel fundamental no aprendizado, uma abordagem

pedagógica que possibilita aos alunos a aplicação prática dos conceitos teóricos aprendidos em sala de aula.

5. CONCLUSÃO

Com a prática realizada, foi possível visualizar o movimento oscilatório do pêndulo. Levando em consideração o valor mais próximo obtido através dos experimentos, encontrou-se um valor médio para a aceleração da gravidade no Morro do Gritador de $g = 9,875 \text{ m/s}^2$ representando um erro relativo de 0,99% em relação ao valor teórico, que é de $9,778 \text{ m/s}^2$. Apesar da discrepância, os resultados obtidos nos experimentos do pêndulo simples apresentam uma boa concordância com o valor esperado da aceleração da gravidade para o local onde o experimento foi realizado. Vale ressaltar que esse experimento é uma atividade que pode ser realizada na sala de aula, sem a necessidade de um laboratório, contribuindo na construção de um aprendizado significativo sobre o tema da gravidade.

REFERÊNCIAS

- ALVES, Valéria. F. **A inserção de atividades experimentais no ensino de Física em nível médio: em busca de melhores resultados de aprendizagem.** Brasília, 2006. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em ensino de ciências. Universidade de Brasília.
- BASSE, Silvio Augusto. **Sequência didática para o ensino-aprendizagem dos conceitos de movimento oscilatório, estudo de caso: pêndulo.** 2019. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2019.
- BRASIL. Ministério da Educação e Cultura. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias.** Brasília, 2006
- DA SILVEIRA, Fernando Lang. **Determinando a aceleração gravitacional.** Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.
- DUTRA, C. M.; SOUZA, M. de. **O uso da problematização e do pêndulo simples para o estudo da gravidade.** Revista Thema, Pelotas, v. 16, n. 1, p. 10–23, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ifsul.edu.br/index.php/thema/article/view/1157>. Acesso em: 18 abr. 2023.
- EMILIA PINTO CARVALHO LANDEIRA, J. et al. **Pêndulo Simples: Tracker x Phyphox.** **Revista do Professor de Física**, v. 4, n. 2, p. 91–108, 2020. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/rpf/article/view/32312>. Acesso em: 24 abr. 2023.
- LOPES, W. **Variação da aceleração da gravidade com a latitude e altitude.** p. 561–568, [s.d.].
- MARIA, J.; BASSALO, F. **CURIOSIDADES DA FÍSICA.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://seara.ufc.br/wp-content/uploads/2019/03/folclore360.pdf>>. Acesso em: 22 abr. 2023.
- SOUZA, F. M. L. DE; CARDOSO, S. C. **Aceleração da gravidade: Análise de experimentos didáticos.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 42, 2020.
- Torres, C. M. A., Ferraro, N. G., de Toledo Soares, P. A., Penteado, P. C. M. (2016). **Física**, vol 1, 4. ed n. Moderna, São Paulo.