



CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA

## O uso da problematização e do pêndulo simples para o estudo da gravidade

*Using the problematization and the simple pendulum for the study of gravity*

Carlos Maximiliano Dutra<sup>1</sup>; Melicia de Souza<sup>2</sup>

### RESUMO

No presente trabalho propomos um experimento de Pêndulo Simples para determinação da aceleração da gravidade por estudantes de uma Escola de Ensino Médio do município de Uruguaiana/RS e uma problematização inicial, a partir de cenas de um filme, para o estudo da gravidade. O Pêndulo Simples é um arranjo composto de uma massa suspensa por um fio e o experimento consiste na análise do período de oscilação deste pêndulo. Verificou-se experimentalmente a independência do período do Pêndulo em relação à massa do corpo suspenso e a espessura do fio, mas apresentando uma variação com o comprimento do fio, fator esse que influencia na determinação da aceleração da gravidade pela experiência do Pêndulo Simples. Como resultado encontrou-se um valor médio de  $g = 9,92 \text{ m/s}^2$ , que representa um erro relativo de 1,30% em relação ao valor teórico de Uruguaiana, corrigido por altitude e latitude, que é de  $9,793 \text{ m/s}^2$ . O uso da experimentação desencadeou um processo inicial de construção do espírito científico nos estudantes, engajando-os numa interação mais significativa entre eles e o conteúdo e tornando o processo de ensino aprendizagem mais dinâmico e atrativo.

**Palavras-chave:** Gravidade; Física; Experimentação; Pêndulo.

### ABSTRACT

*In the present work we propose a Simple Pendulum experiment to determine the acceleration of gravity by students of a secondary school in the city of Uruguaiana / RS and an initial problematization of the gravity by scenes of a film. The simple pendulum is a mass of body suspended by a wire, and the experiment consists of the analysis of the period of pendulum oscillation. It was experimentally verified the independence of the Pendulum period in relation to the mass of the suspended body and thickness of wire and presenting a variation with length wire, factor that influences in the determination of the acceleration of gravity by the Simple Pendulum experiment. As a result, it was obtained a value of  $g = 9.92 \text{ m/s}^2$ , representing a relative error of 1.30% over the theoretical Uruguaiana value, corrected for altitude and latitude, which is  $9.793 \text{ m/s}^2$ . The use of experimentation has provided a greater interaction of the students with the content, making the teaching learning process more meaningful and attractive. The use of experimentation has triggered an initial*

<sup>1</sup> Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA, Uruguaiana/RS - Brasil. E-mail: [profcarlosmaxdutra@gmail.com](mailto:profcarlosmaxdutra@gmail.com)

<sup>2</sup> Instituto Paulo Freire - IPF, São Paulo/SP - Brasil. E-mail: [meliciasouza@outlook.com](mailto:meliciasouza@outlook.com)

*process of building the scientific spirit in students, engaging them in a more meaningful interaction between them and the content and making the learning process more dynamic and attractive.*

**Keywords:** Gravity; Physics; Experiment; Pendulum.

## 1. INTRODUÇÃO

O tema da aceleração da gravidade é abordado no primeiro ano do Ensino Médio da Educação Básica, inicialmente dentro do tópico de Queda dos Corpos denotando a variação de velocidade que um objeto assume ao longo de um tempo de queda a uma determinada altura da superfície da Terra. Posteriormente, a aceleração da gravidade é discutida nas leis de Newton quando é abordada a força peso; esta consiste na causa do movimento de queda dos corpos, isto é, trata-se de uma força atrativa que é proporcional à inércia medida pela massa do objeto. Verifica-se nos livros didáticos adotados nas escolas estaduais de Uruguaiana, dentre eles: (BARRETO FILHO; SILVA, 2013, ARTUSO; WRUBLEWSKI, 2013, GASPAR, 2010, DOCAR *et al.*, 2013) que a aceleração da gravidade é tratada como uma constante de valor  $9,8 \text{ m/s}^2$  e que para simplificação dos cálculos é adotado o valor  $10 \text{ m/s}^2$ , para fins de exercícios. Não encontramos uma discussão sobre a variação da aceleração da gravidade na Terra, bem como propostas de experimentos para a sua determinação.

Silveira (1995) faz uma síntese da história da determinação da aceleração da gravidade descrevendo os primeiros experimentos. Segundo o autor, as primeiras estimativas utilizavam o experimento de Queda dos Corpos sendo obtidos os valores de  $4,0 \text{ m/s}^2$  por Galileu Galilei e  $8 \text{ m/s}^2$  pelo Padre Mersenne. Ainda conforme Silveira (1995) Huygens, em 1659, foi o primeiro cientista a utilizar o pêndulo simples para determinar a aceleração da gravidade, fez uso de um pêndulo de 15,7 cm de comprimento e após análise de 4.464 oscilações estimou uma aceleração gravitacional  $9,5 \text{ m/s}^2$ .

Segundo os parâmetros curriculares nacionais complementares, o sentido da experimentação no ensino de Física:

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, 2002, p.84).

Para Marandino *et al.* (2009), a experimentação na escola busca atender as finalidades do ensino, como uma ferramenta para auxiliar no processo de ensino e aprendizagem. Além disso, o seu uso pode estimular o desenvolvimento de pesquisas em sala de aula, instigar a observação, a análise, o questionamento, o levantamento de hipóteses, de argumentação, de possíveis causas, de intervenção, entre outros aspectos. Nesse sentido, Lima e Piacentini (1984) também propuseram o experimento do Pêndulo Simples para determinação da aceleração da gravidade no contexto escolar em Florianópolis/SC, obtendo o valor de  $9,76 \text{ m/s}^2$  (com um pêndulo de 234,50 cm).

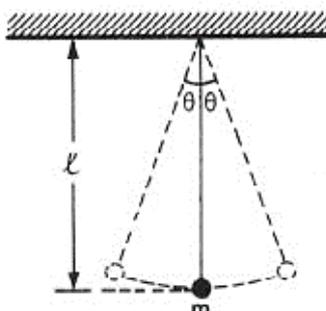
Em relação à variação da aceleração da gravidade na Terra convém destacar o trabalho de Lopes (2008) que apresenta um estudo dessa variabilidade em função da latitude e da altitude. O autor destaca “para se contornar esse problema, desde o curso secundário, os professores deveriam discutir com seus alunos sobre as variações do módulo da aceleração da gravidade com a latitude e longitude”. Ou seja, é importante que os/as educadores/as construam esse conhecimento, que a aceleração da gravidade é uma grandeza variável, pois depende da localização do lugar, e quando obtida de uma forma experimental torna-se ainda mais significativa.

No presente trabalho, busca-se a proposição do experimento do Pêndulo Simples para a determinação do valor da aceleração da gravidade na cidade de Uruguaiana-RS/Brasil por parte de alunos do primeiro ano do ensino médio do Instituto Estadual Paulo Freire.

## 2. TEORIA DO PÊNDULO SIMPLES

Pêndulo Simples é um sistema idealizado que consiste de um corpo suspenso por um fio inextensível de massa desprezível (Figura 1) de comprimento “L”. Quando afastado de sua posição de equilíbrio e solto, o pêndulo oscilará em um plano vertical sob a ação da gravidade. O movimento é periódico; chama-se período de oscilação ao tempo gasto para completar uma oscilação, ou seja, o movimento de ida e volta.

**Figura 1** - Pêndulo Simples.



Fonte: (HALLIDAY *et al.*, 1995).

Elementos de um pêndulo simples:

L = Comprimento

m = massa pendular

$\Theta$  = amplitude

Segundo Halliday *et al.* (1995), desde que o ângulo  $\Theta$  seja no máximo  $10^\circ$ , podemos dizer que o período não depende da amplitude e nem da massa do corpo preso à extremidade do fio. Dependendo apenas do comprimento do fio do pêndulo e da aceleração gravitacional, conforme Equação 1.

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

T = período de oscilação do pêndulo

L = comprimento do pêndulo

g = aceleração da gravidade

É importante saber que o período de oscilação é diretamente proporcional à raiz quadrada do comprimento e é inversamente proporcional à raiz quadrada da aceleração da gravidade.

Para determinar a aceleração da gravidade em um ponto qualquer da Terra basta dispor de um pêndulo simples, um cronômetro e uma trena; realizar o experimento e depois aplicar a Equação 2, obtida isolando a variável “g” na Equação 1:

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

### 3. VARIAÇÃO DA ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE

De acordo com Lopes (2008), devido à rotação e ao achatamento da Terra em direção aos Pólos é necessário corrigir o valor de aceleração da gravidade de acordo com a latitude, da mesma forma o autor destaca a necessidade de corrigir o valor de aceleração da gravidade tendo em conta a altitude do lugar, desse modo Lopes (2008) encontrou expressões matemáticas para essas correções com valores sintetizados na Tabela 1, que reproduzimos na sequência.

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

Altitude Z(m)	Latitude em graus									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	9,780 3	9,781 9	9,786 4	9,793 3	9,801 7	9,8107	9,819 2	9,826 1	9,830 6	9,8321
50	9,780 1	9,781 7	9,786 2	9,793 1	9,801 6	9,8106	9,819 0	9,825 9	9,830 4	9,8320
100	9,780 0	9,781 6	9,786 1	9,792 9	9,801 4	9,8104	9,818 9	9,825 8	9,830 3	9,8318
150	9,779 8	9,781 4	9,785 9	9,792 8	9,801 3	9,8103	9,818 7	9,825 6	9,830 1	9,8317
200	9,779 7	9,781 2	9,785 7	9,792 6	9,801 1	9,8101	9,818 6	9,825 5	9,830 0	9,8315
250	9,779 5	9,781 1	9,785 6	9,792 5	9,800 9	9,8099	9,818 4	9,825 3	9,829 8	9,8314
300	9,779 4	9,780 9	9,785 4	9,792 3	9,800 8	9,8098	9,818 2	9,825 1	9,829 6	9,8312
350	9,779 2	9,780 8	9,785 3	9,792 2	9,800 6	9,8096	9,818 1	9,825 0	9,829 5	9,8311
400	9,779 1	9,780 6	9,785 1	9,792 0	9,800 5	9,8095	9,817 9	9,824 8	9,829 3	9,8309
450	9,778 9	9,780 5	9,785 0	9,791 9	9,800 3	9,8093	9,817 8	9,824 7	9,829 2	9,8307
500	9,778 8	9,780 3	9,784 8	9,791 7	9,800 2	9,8092	9,817 6	9,824 5	9,829 0	9,8306
550	9,778 6	9,780 2	9,784 7	9,791 6	9,800 0	9,8090	9,817 5	9,824 4	9,828 9	9,8304
600	9,778 5	9,780 0	9,784 5	9,791 4	9,799 9	9,8089	9,817 3	9,824 2	9,828 7	9,8303

650	9,778 3	9,779 9	9,784 4	9,791 3	9,799 7	9,8087	9,817 2	9,824 1	9,828 6	9,8301
700	9,778 2	9,779 7	9,784 2	9,791 1	9,799 6	9,8086	9,817 0	9,823 9	9,828 4	9,8300
750	9,778 0	9,779 6	9,784 1	9,791 0	9,799 4	9,8084	9,816 9	9,823 8	9,828 3	9,8298
800	9,777 8	9,779 4	9,783 9	9,790 8	9,799 3	9,8083	9,816 7	9,823 6	9,828 1	9,8297
850	9,777 7	9,779 3	9,783 8	9,790 6	9,799 1	9,8081	9,816 6	9,823 4	9,827 9	9,8295
900	9,777 5	9,779 1	9,783 6	9,790 5	9,798 9	9,8079	9,816 4	9,823 3	9,827 8	9,8294
950	9,777 4	9,778 9	9,783 4	9,790 3	9,798 8	9,8078	9,816 2	9,823 1	9,827 6	9,8292
1000	9,777 2	9,778 8	9,783 3	9,790 2	9,798 6	9,8076	9,816 1	9,823 0	9,827 5	9,8290
1050	9,777 1	9,778 6	9,783 1	9,790 0	9,798 5	9,8075	9,815 9	9,822 8	9,827 3	9,8289
1100	9,776 9	9,778 5	9,783 0	9,789 9	9,798 3	9,8073	9,815 8	9,822 7	9,827 2	9,8287
1150	9,776 8	9,778 3	9,782 8	9,789 7	9,798 2	9,8072	9,815 6	9,822 5	9,827 0	9,8286
1200	9,776 6	9,778 2	9,782 7	9,789 6	9,798 0	9,8070	9,815 5	9,822 4	9,826 9	9,8284
1250	9,776 5	9,778 0	9,782 5	9,789 4	9,797 9	9,8069	9,815 3	9,822 2	9,826 7	9,8283
1300	9,776 3	9,777 9	9,782 4	9,789 3	9,797 7	9,8067	9,815 2	9,822 1	9,826 6	9,8281
1350	9,776 2	9,777 7	9,782 2	9,789 1	9,797 6	9,8066	9,815 0	9,821 9	9,826 4	9,8280
1400	9,776 0	9,777 6	9,782 1	9,789 0	9,797 4	9,8064	9,814 9	9,821 8	9,826 3	9,8278
1450	9,775 8	9,777 4	9,781 9	9,788 8	9,797 3	9,8062	9,814 7	9,821 6	9,826 1	9,8277

Fonte: (LOPES, 2008).

Deste modo, considerando as coordenadas geográficas de Uruguaiana/RS podemos estimar o valor teórico de referência para a aceleração da gravidade local. Cargnelutti Filho *et al.* (2008) apresenta as seguintes coordenadas geográficas para Uruguaiana/RS: Latitude: 29° 45' 23", longitude 57° 05' 12" e altitude de 62,31 m. A partir desses dados, interpolando os valores na Tabela 1, estimamos um valor teórico para a aceleração da gravidade local em Uruguaiana/RS de 9,793 m/s<sup>2</sup>.

#### **4. PROPOSTA DIDÁTICA DE EXPERIMENTO DE DETERMINAÇÃO DA ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE**

O grupo investigado nesta pesquisa constitui-se de 24 educandos/as do primeiro ano do Ensino Médio do turno da tarde, do Instituto Estadual Paulo Freire, com a faixa etária entre 15 a 17 anos. O Instituto Estadual Paulo Freire é uma escola de Ensino Médio, localizada na União das Vilas, periferia da cidade de Uruguaiana/RS e baseia-se na filosofia de Paulo Freire que concebe a educação como um processo de tomada de consciência – compreensão, interpretação e intervenção no mundo.

No início do desenvolvimento da proposta identificou-se os conhecimentos prévios dos/as educandos/as sobre o conteúdo que seria abordado através de questionamentos. Como por exemplo, a definição de gravidade, a sua importância, se é uma grandeza fixa ou variável, se ocorre em outros planetas. Conforme afirma Freire

(1996), “Ninguém ignora tudo. Ninguém sabe tudo. Todos/as nós sabemos alguma coisa. Por isso aprendemos sempre”. Portanto, é importante ter como prática educativa a transformação do senso comum para conhecimento epistêmico, pois a partir das respostas obtidas pelos questionamentos foram estruturadas as próximas atividades.

Após a percepção dos conceitos, foi reproduzido o filme Gravidade (2013) dirigido por Afonso Cuarón, como ferramenta para auxiliar na interpretação e compreensão do fenômeno físico em estudo. Algumas características do nosso Universo são informadas no filme como, por exemplo, ambiente sem gravidade, sem oxigênio, sem som, no vácuo, temperaturas que oscilam entre muito baixas e altas, satélites, o planeta Terra em rotação, Estação Espacial Internacional, entre outros. Enfim, as cenas do filme são tentativas artísticas de retratar as forças da natureza, no qual podemos abordar vários conceitos.

Os seguintes questionamentos foram realizados após a reprodução do filme:

- 1- Por que os objetos e as pessoas flutuavam?
- 2- Que elementos caracterizam um ambiente “sem” gravidade?
- 3- Por que havia luz no espaço?
- 4- Por que não havia som no momento das explosões e colisões com os destroços do satélite?

Através das falas, da participação de todos/as percebeu-se o interesse e entusiasmo pela atividade desenvolvida. Ficou evidente a partir do filme e das discussões que se seguiram uma compreensão das condições de órbita da Estação Espacial Internacional no vácuo espacial que geram o ambiente “sem” gravidade ou de microgravidade; bem como da importância do efeito do campo gravitacional terrestre para a existência e sobrevivência dos ecossistemas terrestres, a cerca do efeito do campo gravitacional terrestre sobre os corpos e sua importância para a existência e sobrevivência dos ecossistemas terrestres. A partir desta problematização inicial e da elucidação de alguns conceitos, elaboramos o Roteiro Experimental abaixo para o desenvolvimento da atividade de determinação da aceleração da gravidade local, em nosso caso, da cidade de Uruguaiana, RS.

Para a realização da atividade experimental, em nossa aplicação os/as educandos/as foram divididos em oito grupos com três integrantes e com a mediação da educadora iniciou-se a leitura e esclarecimento do roteiro. O procedimento experimental foi iniciado pelos grupos de acordo com o roteiro prático e registrado na Figura 1.

## Determinando a aceleração da gravidade

Através das atividades anteriores, avaliando conhecimento prévio e discutindo o filme "Gravidade", construímos o conceito de gravidade. Sabemos que existe uma força gravitacional que atrai qualquer corpo para o centro da Terra. Sendo assim, podemos afirmar que uma força atuante em um corpo implica sobre ele uma aceleração. A aceleração da gravidade em um determinado local é a intensidade do campo gravitacional nessa localização.

### Experimento do Pêndulo Simples

Materiais Utilizados:

1. Uma esfera metálica de massa 98 g;
2. Uma esfera metálica de massa 16 g;
3. Barbantes com diferentes espessuras (1 mm; 4 mm) e de comprimento a ser determinado, ligando a haste à esfera;
4. Um transferidor, para realizar a medida do ângulo durante o tempo de oscilação do pêndulo;
5. Uma régua para traçar a determinação da amplitude do movimento;
6. Uma trena para a medida do comprimento do barbante;
7. Um cronômetro, para medidas do tempo de oscilação do pêndulo.

Procedimentos Experimentais:

1. Sugere-se dividir os educandos em grupos, quatro (4) ou cinco (5) grupos, dependendo do tamanho da turma. Cada grupo realizará o experimento com uma das seguintes configurações de Pêndulo, a partir das duas esferas metálicas com os dois tipos de barbantes: a) 98 g - 4 mm; b) 98 g - 1 mm; c) 16 g - 4 mm; e d) 16 g - 1 mm).
2. Orienta-se que cada grupo deve fixar seu pêndulo e ajuste o comprimento  $L_1$  do pêndulo inicialmente em 20 cm (lembrando que o comprimento do pêndulo deve ser medido desde o início do fio até o centro da esfera); posicione o pêndulo para um ângulo de amplitude  $5^\circ$  (com uso do transferidor) e solte-o. Meça o tempo,  $t$ , que o pêndulo leva pra oscilar 10 vezes (é contada 1 oscilação quando o pêndulo retorna à sua posição de origem de onde foi largado) e anote o valor na Tabela 2. Repita três vezes.
3. Repita o procedimento para  $L_2 = 40$  cm,  $L_3 = 60$  cm,  $L_4 = 80$  cm,  $L_5 = 100$  cm e  $L_6 = 120$  cm. Realize três vezes cada medida e anote na Tabela 2.

**Figura 1** - Educandos/as realizando experimentos com o Pêndulo Simples.



Fonte: autores.

**Tabela 2** - Medidas do período de oscilação do pêndulo T com a variação do comprimento L.

Comprimento do pêndulo L(cm)	Número da medida	Número de oscilações s	Tempo t(s)	Média $\bar{t}(s) = \frac{t_1+t_2+t_3}{3}$	$\bar{T}(s) = \frac{\bar{t}}{10}$	$g = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot L}{\bar{T}^2}$
20	1	10	t <sub>1</sub> =			
	2		t <sub>2</sub> =			
	3		t <sub>3</sub> =			
40	1	10	t <sub>1</sub> =			
	2		t <sub>2</sub> =			
	3		t <sub>3</sub> =			
60	1	10	t <sub>1</sub> =			
	2		t <sub>2</sub> =			
	3		t <sub>3</sub> =			
80	1	10	t <sub>1</sub> =			
	2		t <sub>2</sub> =			
	3		t <sub>3</sub> =			
100	1	10	t <sub>1</sub> =			
	2		t <sub>2</sub> =			
	3		t <sub>3</sub> =			
120	1	10	t <sub>1</sub> =			

Visando contemplar as quatro configurações propostas no roteiro prático, cada dois grupos ficou com a mesma configuração, e foram apontados nas planilhas de resultados os valores médios das três medidas tempo em cada configuração e comprimento de pêndulo.

## 5. RESULTADOS

Os dados obtidos foram preenchidos e utilizados para os cálculos da aceleração da gravidade (g), conforme a Equação 2, e registrados nas tabelas de resultados para cada configuração do experimento visando discutir além dos resultados em si, as influências dos seguintes fatores na determinação da aceleração da gravidade: (i) massa do pêndulo; (ii) espessura do fio do pêndulo; (iii) comprimento do pêndulo.

Os resultados das medições realizadas pelos/as educandos/as são apresentados nas Tabelas 3, 4, 5 e 6 a seguir:

**Tabela 3** - Experimento utilizando a massa de 98 g com fio de 4 mm.

Comprimento do pêndulo L(cm)	Número da medida	Número de oscilações	Tempo t(s)	Média $\bar{t}(s) = \frac{t_1+t_2+t_3}{3}$	$\bar{T}(s) = \frac{\bar{t}}{10}$	$g = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot L}{\bar{T}^2}$
20	1	10f	10,23	10,13	1,01	g = 7,72
	2		9,98			
	3		10,17			
40	1	10	12,62	12,63	1,26	g = 9,93
	2		12,54			
	3		12,75			
60	1	10	14,98	15,08	1,50	g = 10,52
	2		15,02			
	3		15,25			
80	1	10	17,53	17,68	1,77	g = 10,08
	2		17,63			
	3		17,89			
100	1	10	18,86	18,83	1,88	g = 11,15
	2		18,90			
	3		18,74			
120	1	10	21,59	21,29	2,13	g = 10,43

Fonte: autores.

$$\bar{g} = \frac{7,72+9,93+10,52+10,08+11,15+10,43}{6} = 9,97 \text{ m/s}^2$$

**Tabela 4** - Experimento utilizando a massa de 98 g com fio de 1 mm.

Comprimento do pêndulo L(cm)	Número da medida	Número de oscilações	Tempo t(s)	Média $\bar{t}(s) = \frac{t_1+t_2+t_3}{3}$	$\bar{T}(s) = \frac{\bar{t}}{10}$	$g = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot L}{\bar{T}^2}$
20	1	10	8,84	8,9	0,89	g = 9,97
	2		9,13			
	3		8,71			
40	1	10	13,36	13,10	1,31	g = 9,17
	2		12,85			
	3		13,04			
60	1	10	15,41	15,38	1,54	g = 9,98
	2		15,37			
	3		15,35			
80	1	10	17,68	17,72	1,77	g = 10,07
	2		17,85			
	3		17,62			
100	1	10	19,56	19,46	1,95	g = 10,38
	2		19,47			
	3		19,35			
120	1	10	21,94	21,74	2,17	g = 10,04

Fonte: autores.

$$\bar{g} = \frac{9,97+9,17+9,98+10,07+10,38+10,04}{6} = 9,94 \text{ m/s}^2$$

**Tabela 5** - Experimento utilizando a massa de 16 g com fio de 4 mm.

Comprimento do pêndulo L(cm)	Número da medida	Número de oscilações	Tempo t(s)	Média $\bar{t}(s) = \frac{t_1+t_2+t_3}{3}$	$\bar{T}(s) = \frac{\bar{t}}{10}$	$g = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot L}{\bar{T}^2}$
20	1	10	9,48	9,37	0,94	g = 8,39
	2		9,25			
	3		9,37			
40	1	10	12,65	12,62	1,26	g = 9,92
	2		12,49			
	3		12,73			
60	1	10	15,09	15,17	1,52	g = 10,24
	2		15,28			
	3		15,14			
80	1	10	17,17	17,22	1,72	g = 10,58
	2		17,27			
	3		17,23			
100	1	10	19,26	19,4	1,94	g = 10,37
	2		19,58			
	3		19,34			
120	1	10	21,58	21,61	2,16	g = 10,13

Fonte: autores.

$$\bar{g} = \frac{8,39+9,92+10,24+10,58+10,37+10,13}{6} = 9,94 \text{ m/s}^2$$

**Tabela 6** - Experimento utilizando a massa 16 g com o fio 1.

Comprimento do pêndulo L(cm)	Número da medida	Número de oscilações	Tempo t(s)	Média $\bar{t}(s) = \frac{t_1+t_2+t_3}{3}$	$\bar{T}(s) = \frac{\bar{t}}{10}$	$g = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot L}{\bar{T}^2}$
20	1	10	9,26	9,19	0,92	g = 9,27
	2		9,01			
	3		9,29			
40	1	10	12,44	12,45	1,25	g = 9,86
	2		12,57			
	3		12,35			
60	1	10	15,44	15,34	1,53	g = 10,11
	2		15,19			
	3		15,39			
80	1	10	17,68	17,72	1,77	g = 10,08
	2		17,76			
	3		17,73			
100	1	10	19,89	19,82	1,98	g = 10,06
	2		19,92			
	3		19,67			
120	1	10	21,59	21,62	2,16	g = 10,13

Fonte: autores.

$$\bar{g} = \frac{9,27+9,86+10,11+10,08+10,06+10,13}{6} = 9,92 \text{ m/s}^2$$

## 6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para estimação do valor de aceleração da gravidade a partir do experimento, consideramos a configuração na qual se obteve o valor mais próximo do valor teórico, ou seja, massa de 16 g para a esfera e espessura de fio 1mm com valor médio de  $g = 9,92 \text{ m/s}^2$  que representa um erro relativo de 1,30% em relação ao valor teórico corrigido para a latitude e altitude de Uruguaiana que é  $9,793 \text{ m/s}^2$ .

O experimento do Pêndulo Simples foi reproduzido na atividade prática considerando, para a mesma massa de 98 g da esfera metálica, duas espessuras diferentes de fio de suspensão e conforme os resultados das Tabelas 3 e 4 obteve-se para 4 mm  $g = 9,97 \text{ m/s}^2$  e 1 mm  $g = 9,94 \text{ m/s}^2$ . Comparando com o valor teórico de aceleração da gravidade local de Uruguaiana de  $g = 9,793 \text{ m/s}^2$  temos um erro relativo de, respectivamente, 1,81% e 1,50%. Considerando que a diferença dos valores de  $g$  obtidos para as duas espessuras de fio foi de  $0,03 \text{ m/s}^2$ , que representa um valor de 0,31% relativamente ao valor teórico e, portanto, menor que o erro relativo de determinação de  $g$ , pode-se assumir que nesse experimento o valor de  $g$  foi independente das características do fio.

Ainda considerando variações na característica do pêndulo adotado na atividade experimental, reproduziu-se a experiência alterando a massa de 98 g para 16 g, mantendo-se as espessuras de fio de 4 mm e 1 mm. Os resultados são reportados nas Tabelas 5 e 6. Obtivemos para a configuração de pêndulo 16 g - 4 mm um valor de  $g = 9,94 \text{ m/s}^2$  e para configuração de pêndulo 16 g - 1 mm,  $g = 9,92 \text{ m/s}^2$ . Estes valores representam em relação ao valor teórico um erro relativo de respectivamente 1,50% e 1,30%. Considerando as diferentes massas e espessuras de fio, podemos determinar tendo em conta o fator massa do corpo suspenso (ou massa do pêndulo) duas diferenças, uma para cada espessura de fio e o valor médio dessas diferenças resulta  $0,025 \text{ m/s}^2$  que representa um valor de 0,26% do valor teórico e, portanto, menor que o erro relativo de determinação de  $g$ . Pode-se assumir que neste experimento o valor de  $g$  foi independente da massa do corpo suspenso ou massa do pêndulo. A independência do valor de  $g$  em relação às características do fio e à massa do corpo suspenso para o pêndulo simples é esperada teoricamente.

Outra análise igualmente interessante é a variação de  $g$  em relação ao comprimento do fio (comprimento do pêndulo). Na configuração de pêndulo 98 g - 4 mm tivemos uma amplitude total de variação (maior menos menor valor de  $g$ ) relativa ao valor teórico igual a 35,02%, e nas demais configurações essa medida de variação foi de 98 g - 1 mm 12,36%, 16 g - 4 mm 22,36% e 16 g - 1 mm 8,78%. Todas estas variações são de ordem maior que o erro relativo das medidas médias em relação ao valor teórico, mostrando que, efetivamente, o comprimento do pêndulo interfere na determinação de  $g$ , conforme esperado teoricamente. Lopes (1988) encontrou como resultados que as incertezas em suas medições decresciam com o aumento do comprimento do fio do pêndulo; ao mesmo tempo espera-se teoricamente que os períodos para comprimentos pequenos sejam bem pequenos e, portanto difíceis de medir e com variações próximas à precisão dos instrumentos de medida de tempo mais comuns.

Todas essas análises foram realizadas em conjunto com os/as educandos/as em aula posterior a da atividade experimental e permitiu-lhes chegarem a conclusões sobre o

valor de  $g$  e os fatores que influenciam essa determinação no experimento do Pêndulo Simples.

No total foram utilizados dois (2) períodos de 45 minutos para a atividade experimental, sendo um período para a coleta dos dados e tabulação e outro para o desenvolvimento dos cálculos e socialização e discussão dos resultados.

## **7. CONCLUSÕES**

Através dos experimentos realizados, pôde-se determinar a aceleração da gravidade no município de Uruguaiana, RS, Brasil, obtendo-se  $g = 9,92 \text{ m/s}^2$ , na configuração com menor massa do pêndulo e menor espessura de fio do pêndulo simples, que representa um erro relativo de 1,30% em relação ao valor teórico corrigido para a latitude e altitude de Uruguaiana que é  $9,793 \text{ m/s}^2$ . Analisando os resultados pode concluir que a determinação de  $g$  independe das características intrínsecas do pêndulo (massa do corpo suspenso e espessura do fio), mas dependem do comprimento do fio do pêndulo adotado.

Diversos autores vêm discutido a importância da experimentação como instrumento didático no processo ensino-aprendizagem, Galiuzzi *et al.* (2001) apresentou uma evolução crítica dos objetivos da experimentação na Educação Básica na literatura e promoveu uma discussão com um grupo de professores e futuros professores do Ensino Médio. Os autores encontraram respostas críticas ao papel da experimentação na verificação de fatos, aplicação do método científico e o aprendizado de técnicas laboratoriais com coleta rigorosa de dados, que favorece uma visão epistemológica empirista, pois esta é considerada uma visão superada do ponto de vista da Epistemologia contemporânea - que vê a ciência como uma construção humana que envolve outros elementos para além da observação e indução; a atividade prática foi vista como uma das possíveis ferramentas de construção da Teoria. Mais recentemente Guimarães *et al.* (2018) discutiu com um grupo de professores de Ciências de uma formação continuada os obstáculos e possibilidades da experimentação como recurso didático. Os autores apontaram como obstáculos a falta de laboratório e ou de material para realização dos experimentos, bem como falta de tempo para preparação e realização dos experimentos nos períodos de aula. Em relação às possibilidades, os autores evidenciaram nas respostas dos professores a importância da atividade como metodologia ativa que promove a melhoria do aprendizado, embora haja dificuldade na execução das mesmas; os autores também apontam para a necessidade de uma maior reflexão do papel das Feiras de Ciências.

Segundo Freire (2011), "Quando mais investigo o pensar do povo com ele, mais nos educamos juntos. Quando mais nos educamos, mais continuamos investigando. Na concepção problematizadora da educação, educação e investigação temática tornam-se uma coisa só, ou momentos de um processo."

O presente experimento constitui-se em uma atividade prática de baixo custo que pode ser realizada no espaço de sala de aula sem a necessidade de um laboratório e que com a devida problematização pode auxiliar na construção de uma aprendizagem significativa a cerca do tema gravidade.

## 8. REFERÊNCIAS

- ARTUSO, A. R.; WRUBLEWSKI, M. **Física 1**. 1. ed. Curitiba: Positivo, 2013.
- BARRETO FILHO, B.; SILVA, C. X. **Física aula por aula: Mecânica**. 2. ed. São Paulo: FTD, 2013.
- BRASIL. PCN+: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. **Ciências da natureza, Matemática e suas tecnologias**, Brasília, MEC/SEB, 2002.
- CARGNELUTTI FILHO, A.; MALUF, J.R.T.; MATZENAUER, R. Coordenadas geográficas na estimativa das temperaturas máxima e média decendiais do ar no Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.9, p.2448-2456, 2008.
- DOCA, R. H.; BISCUOLA, G.J.; VILLAS BÔAS, N. **Física 1**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2013.
- FREIRE, Paulo. **Pedagogia do oprimido**. 50. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2011.
- GALIAZZI, M.C.; ROCHA, J.M.B.; SCHMITZ, L.C.; SOUZA, M.L.; GIESTA, S.; GONÇALVES, F.P. Objetivos das Atividades Experimentais no Ensino Médio: A Pesquisa Coletiva como modo de formação de professores de Ciências. **Ciência & Educação**, São Paulo, v.7, n.2: p.249-263, 2001
- GASPAR, A. **Compreendendo a Física: ensino médio**. 1. ed. São Paulo: Ática, 2010.
- GUIMARÃES, L.; CASTRO, D.; LIMA, V.; DOS ANJOS, M. Ensino de Ciências e experimentação: reconhecendo obstáculos e possibilidades das atividades investigativas em uma formação continuada. **Revista Thema**, Pelotas, v.15, n.3, p.1164-1174, 2018.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física**. 4. ed. v.2. Rio de Janeiro: LTC, 1995.
- LIMA, F.R.R.; PIACENTINI, J.J. Pêndulo simples - um método simples e eficiente para determinar g: uma solução para o ensino médio. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v.1, n.1, p.26-29, dez. 1984.
- LOPES, C. O. Uma contribuição didática ao estudo experimental da aceleração devido à gravidade local. **Caderno Catarinense de Ensino da Física**, Florianópolis, v.5, n.1, p.28-35, 1988.
- LOPES, W. Variação da aceleração da gravidade com a latitude e altitude. **Caderno Brasileiro de Ensino da Física**, v.25, n.3, p.561-568, dez. 2008.
- MARANDINO, M.; SELLES, S. E.; FERREIRA, M. S. **Ensino de Biologia: histórias e práticas em diferentes espaços educativos**. São Paulo: Cortez, 2009.
- MENEZES, L.C.; ROUXINOL, E.; BROCKINGTON, G.; GURGEL, I.; PIASSI, L.P.C.; BONETTI, M.C.; OLIVEIRA, M.P.P; SIQUEIRA, M.R.P.; SALEM, S.; HOSOUME, Y. **Caderno do professor: Física Ensino Médio - 1ª série**, v.3. São Paulo: SEE, 2009.
- SILVEIRA, F. L. Determinando a aceleração gravitacional. **Revista de Enseñanza de la Física**, Córdoba, v.10, n.2, p.29-35, 1995.

Submissão em: **25 set. 2018**

Aceito em: **19 nov. 2018**