

13º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2022

MEDIDAS EXPERIMENTAIS DO CAMPO GRAVITACIONAL LOCAL E MOMENTOS DE INÉRCIA POR MÉTODOS SIMPLES VIA PLANO INCLINADO

SANTOS, Eduardo Henrique dos¹, NORONHA, André, MAIA, Déryk Miguel Vieira³, ARAÚJO, Felipe Marciel Bonfim de⁴, MENDONÇA, Pedro Henrique Gomes de⁵

¹ Estudante do curso Técnico Integrado ao Ensino Médio de Informática para Internet; bolsista PIBIFSP, IFSP Campus avançando São Paulo – São Miguel Paulista, eduardo102740@gmail.com.

² Doutor em Ciências, professor EBTT do IFSP campus avançado São Paulo - São Miguel Paulista, noronha@ifsp.edu.br.

³ Estudante do curso Técnico Integrado ao Ensino Médio de Informática para Internet; voluntário PIVICT, IFSP Campus avançando São Paulo – São Miguel Paulista, derykmiguelx@gmail.com.

⁴ Estudante do curso Técnico Integrado ao Ensino Médio de Informática para Internet; voluntário PIVICT, IFSP Campus avançando São Paulo – São Miguel Paulista, felipe.marciel@aluno.ifsp.edu.br.

⁵ Estudante do curso Técnico Integrado ao Ensino Médio de Informática para Internet; voluntário PIVICT, IFSP Campus avançando São Paulo – São Miguel Paulista, riqmendonca@gmail.com.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 1.05.01.00-2 Física Geral

RESUMO: Nesse trabalho objetiva-se a determinação experimental do momento de inércia de um cilindro homogêneo e do campo gravitacional terrestre local empregando-se um plano inclinado construído para esse fim. O trabalho envolvido no projeto visa não somente introduzir aspectos fundamentais da física experimental, mas também evidenciar as naturezas das atividades experimentais científicas, como a realização de medidas e as técnicas de propagação de incertezas, seus alcances e limitações para a construção do conhecimento científico sobre a realidade.

PALAVRAS-CHAVE: Campo gravitacional terrestre; Momento de inércia; Plano inclinado.

EXPERIMENTAL MEASURES OF THE LOCAL GRAVITATIONAL FIELD AND MOMENTS OF INERTIA BY SIMPLE METHODS VIA INCLINED PLAN

ABSTRACT: This project aims to experimentally determine the moment of inertia of a homogeneous cylinder and the local terrestrial gravitational field using an inclined plane built for this purpose. The work involved in the project aims not only to introduce fundamental aspects of experimental physics, but also to highlight the nature of scientific experimental activities, such as the measurements and the techniques of propagation of uncertainties, its scope and limitations for the construction of scientific knowledge about reality.

KEYWORDS: Gravitational field; Moment of inertia; Inclined plane.

INTRODUÇÃO

Reconhece-se, de longa data, a importância do uso dos laboratórios didáticos no ensino de ciências, uma vez que a experimentação tem um papel essencial na formação dos sujeitos, tanto em relação à sua postura frente ao conhecimento quanto ao desenvolvimento de habilidades para lidar

com novas situações (NARDI, 1998). De fato, este reconhecimento é ressaltado em diversos documentos oficiais brasileiros (BRASIL, 1999, 2001, 2002, 2006), e também em documentos mais recentes ancorados em discussões dos currículos de referência e a BNCC (ver SODRÉ, 2022). Por outro lado, é lugar comum que a adoção de atividades experimentais pelos docentes é esporádica, assistemática e sem metodologia definida na maioria das escolas públicas, devido principalmente à carência de material, equipamento, local adequado para realizar as atividades, tempo para o seu preparo, e insuficiente número de aulas na carga horária (GASPAR, 2014). Nesse sentido, urge procedimentos relativamente acessíveis, utilizando equipamentos tão simples quanto possível, para realizar atividades experimentais no ensino de ciências, particularmente no ensino de Física.

Este projeto propõe, para estudantes de ensino médio, um trabalho de introdução à Física experimental e às técnicas mais básicas de tratamento de dados, com objetivo de apresentar formalmente uma medida experimental do campo gravitacional terrestre local, assim como do momento de inércia de um cilindro rígido homogêneo, com as devidas incertezas, por meio de métodos simples envolvendo o conhecido caso do plano inclinado.

MATERIAL E MÉTODOS

Os objetivos dos projetos de iniciação científica dos quais este trabalho deriva são: (A) obter uma medida local do campo gravitacional terrestre (g); (B) obter uma medida experimental do momento de inércia (I) de um cilindro homogêneo de aço, sendo que em ambos os casos empregou-se um plano inclinado construído para esse fim. Os materiais utilizados são: (i) suporte para aparato de plano inclinado (ver figura 2); (ii) massor de formato cilíndrico com massa específica (ver figura 2); (iii) escalímetro (precisão de 10^{-3} m); (iv) cronômetro e angulômetro de app de smartphone (precisões respectivas de 10^{-2} s e 10^{-1} °), e; (v) programas de edição de planilhas para tratamento de dados (tais como *Microsoft Excel* ou *LibreOffice Calc*).

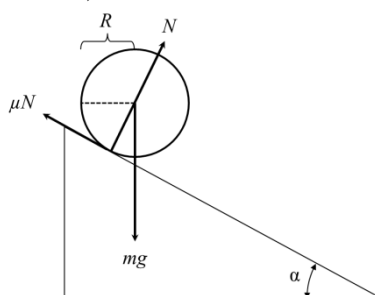


FIGURA 1: Representação da situação e diagrama de forças

Para a previsão teórica de g em um problema do tipo plano inclinado, usaremos como corpo de prova um cilindro rígido e homogêneo (massor). Considera-se que ao longo de todo trajeto no plano inclinado o cilindro se movimenta de tal forma que seu eixo se mantém perpendicular à direção de movimento e paralelo ao plano inclinado (ver figura 1).

Das leis Newton, pode-se obter a seguinte relação para a aceleração da gravidade.

$$g = \frac{3D}{T^2 \sin(\alpha)} \quad (1)$$

sendo g a aceleração da gravidade local, α a inclinação do plano, D o comprimento do trajeto retilíneo no plano inclinado, e T o intervalo para percorrer o plano inclinado. Obteve-se um conjunto de medidas para diferentes comprimentos D , que por sua vez associados a diferentes medidas de T e α (estas realizadas por meio das leituras giroscópicas internas de smartphones). Com esse conjunto, obteve-se estimativas de g empregando-se a expressão (1). As incertezas das estimativas de g são calculadas por meio do método de propagações das incertezas em D , T e α .



FIGURA 2: Primeira imagem à esquerda, projeto 3D do plano inclinado; segunda imagem, plano inclinado reclinável; terceira imagem, cilindro rígido homogêneo utilizado nos projetos.

Comparou-se, por fim, a estimativa de g com a previsão teórica para um modelo geodético terrestre de intensidade do campo gravitacional em função da latitude, longitude e altitude. Para a localidade onde as medidas foram feitas (São Miguel Paulista, São Paulo), temos os respectivos valores: -23.498809071783416 , -46.43897461577556 e aproximadamente 800 metros. Neste caso, com base em Lopes (2008), temos, em módulo:

$$g = 9,7856 \text{ m/s}^2 \quad (2)$$

Para o estudo do momento de inércia do cilindro rígido homogêneo, por sua vez, também partimos do esquema apresentado na figura 1. E, utilizando as leis de Newton, deduz-se que:

$$I = mR^2 \left(\frac{gT^2 \text{sen}(\alpha)}{2D} - 1 \right) \quad (3)$$

sendo R o raio do cilindro. Utilizou-se o mesmo processo de tomada de dados do caso de g , considerando adicionalmente, porém, as medidas da massa ($0,883 \pm 0,001$ kg) e raio do cilindro ($0,030 \pm 0,001$ m). Para cada conjunto destas medidas, obteve-se uma estimativa de I . As estimativas individuais do momento de inércia têm incertezas individuais, definidas por meio das propagações das incertezas em m , R , D , T e α . Como parâmetro para I , utilizou-se a dedução teórica para o momento de inércia de um cilindro rígido homogêneo, utilizando-se as medidas de m e R ilustradas. Tem-se:

$$I_{\text{teorico}} = 0,397 \cdot 10^{-3} \text{ kg.m}^2 \quad (4)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Abaixo reproduzimos um gráfico contendo as estimativas de g em função do ângulo α de inclinação do plano e também de I em função de α :

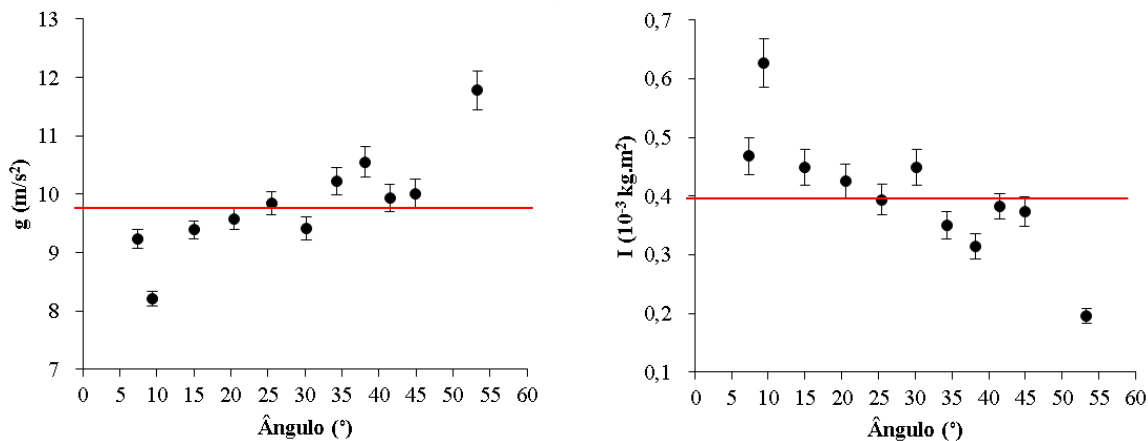


Figura 3: Gráficos $g \times \alpha$ e $I \times \alpha$. Em cada gráfico, os pontos pretos são as estimativas de g e estimativas de I para cada ângulo relacionado. Na esquerda, a linha vermelha é a estimativa parâmetro de Lopes (2008), e na direita é o valor teórico de I com base na relação (4). Barras de erros calculadas por meio da propagação de incertezas em ambos os casos.

As médias das estimativas de g e I foram:

$$\bar{g} = 9,86(99) \text{ m/s}^2 \quad \bar{I} = 0,400(119) \cdot 10^{-3} \text{ kg.m}^2$$

que estão coerentes com os parâmetros utilizados (2) e (4), respectivamente, com erro relativo abaixo de 1%. As etapas seguintes do projeto envolvem investigar as causas dos desvios das estimativas para com os parâmetros em função do ângulo de inclinação. A hipótese considerada, até então, envolve situações de deslizamento do cilindro em grandes inclinações, o que demandaria uma descrição teórica mais longa e complexa. Espera-se, que, com a inclusão de um forro de borracha na superfície do plano inclinado, possa-se manter a condição de rolamento sem deslizamento mesmo para ângulos próximos de 90°.

CONCLUSÕES

Expectativas otimistas no início do projeto apontavam para a obtenção de estimativas de g e I com desvio de até 1% dos parâmetros (Lopes (2008) e relação (4)). Os cuidados tomados durante a tomada e análise de dados, assim como decisões visando a melhoria do aparato e dos processos medida, acarretaram em resultados razoáveis. Em termos da continuidade dos trabalhos dos projetos de iniciação científica, pretende-se realizar mais medidas para obtenção de estimativas ainda mais razoáveis, assim como a ampliação do escopo do trabalho, incluindo, por exemplo, determinações de momento de inércia de cilindro vazado. O presente trabalho ilustra as potencialidades da Física experimental no ensino de ciências e seu papel em evidenciar as metodologias e rigores científicos no estudo dos fenômenos naturais.

AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos pelo financiamento do projeto pelo PIBIFSP e PIVICT.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério da Educação (MEC), Conselho Nacional de Educação (CNE). Parecer CNE/CES 1304/2001. **Diretrizes Curriculares para os Cursos de Física**. Diário Oficial da União. Brasília, 07 dez. 2001. Seção 01. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CES1304.pdf>, acesso em maio de 2022.
- BRASIL. Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Média e Tecnológica (SEMTEC). **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio, Parte III: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília: MEC/SEMTEC, 22-29, 1999. Disponível em:

<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>, acesso em maio de 2022.

BRASIL. Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Média e Tecnológica (SEMTEC). **PCN+Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais -Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília: MEC/SEMTEC, 59-86, 2002. Disponível em:

<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>, acesso em maio de 2022.

BRASIL. Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Básica (SEB). **Orientações Curriculares para o Ensino Médio; vol. 2, Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília: MEC/SEB, 45-66, 2006. Disponível em:

http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book_volume_02_internet.pdf, acesso em maio de 2022.

GASPAR, A. **Atividades experimentais no ensino de Física**. São Paulo: Ed. Livraria da Física, 2014
LOPES, W. Variação da aceleração da gravidade com a latitude e longitude. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, n.25 v.3, 561-568, 2008.

NARDI, R. **Questões Atuais no Ensino de Ciências**. São Paulo: Escrituras, 1998.

SODRÉ, A. P. **Atividades experimentais no ensino de ciências na educação básica**. Centro de Educação Superior de Inhumas: FacMais, Mestrado em Educação, 2022.

VUOLO, J.H. **Fundamentos da Teoria de Erros**. 2ª ed. São Paulo: Ed. Blucher, 1996.