

Momento de Inércia de um Disco Cilíndrico Oco: ensaio em laboratório didático

RESUMO

O presente artigo apresenta relato do ensaio de uma atividade experimental desenvolvida para o ensino de Física em cursos de Engenharia em um laboratório didático de Física. Nessa atividade buscou-se determinar por dois métodos distintos o momento de inércia de um disco cilíndrico oco com eixo perpendicular à sua face plana e situado em seu centro de massa. Em um dos métodos determinou-se o momento de inércia a partir do uso de sua equação própria. No outro método utilizou-se da equação do torque, grandeza responsável pelo impulso angular provocado sobre o disco. Ao final da atividade os valores obtidos em cada método foram comparados por meio do cálculo de percentual de erro e obteve-se o resultado de 2,26% para a média dos tempos medidos e zero% para um valor específico entre os tempos medidos.

PALAVRAS-CHAVE: Física; Ensino de Física; Laboratório didático.

Vinicius Machado

vinmac@utfpr.edu.br

orcid.org/0000-0001-9460-8284

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UPR), Ponta Grossa, Paraná, Brasil.

Pedro Leineker Ochoski Machado

pedmac@alunos.utfpr.edu.br

orcid.org/0000-0003-0141-8081

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UPR), Ponta Grossa, Paraná, Brasil.

Vitor Otávio Ochoski Machado

vitorvoom@hotmail.com

orcid.org/0000-0003-2232-6629

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UPR), Ponta Grossa, Paraná, Brasil.

INTRODUÇÃO

A atividade que originou esse trabalho deu-se em virtude de dificuldades encontradas para realizar atividades de ensino experimental de Física, relacionadas ao movimento de rotação. Essas dificuldades dão-se pelo alto custo dos equipamentos existentes no mercado e por não encontrar nos instrumentos, equipamentos ou outros disponíveis, as características e funcionalidades entendidas como necessárias para se cumprir determinados objetivos da disciplina como a realização de medidas, interpretação de fenômenos, conceituação de grandezas, realização de cálculos e outros.

A partir desse problema, deparou-se com a necessidade de elaborar, construir e testar o funcionamento de dispositivos próprios para o uso nas aulas experimentais de física. Assim, construiu-se um dispositivo em que um disco cilíndrico oco com eixo situado em seu centro de massa, inicialmente em repouso, quando liberado, entra em movimento pela ação de um torque. Por equações próprias foi possível, a partir de medidas realizadas no sistema, obter o valor do momento de inércia desse disco em duas situações distintas: disco em repouso e disco em movimento.

Assim, o objetivo deste trabalho é relatar as atividades desenvolvidas e os resultados obtidos em uma atividade experimental sobre momento de inércia com o dispositivo didático desenvolvido para o ensino de física em laboratório.

O MOMENTO DE INÉRCIA

O momento de inércia de um corpo em relação a um eixo trás aos acadêmicos de engenharia a necessidade de, nos estudos sobre rotação, recordar o princípio da inércia estudado nos movimentos de translação durante as aplicações das Leis de Newton. Se na translação observou-se que a massa de um objeto se apresenta como o principal agente de inércia, na rotação é preciso verificar como a massa desse objeto se comporta dependendo de sua distribuição em relação ao eixo sobre o qual esse objeto encontra-se em repouso ou sofre rotação.

Na translação o princípio da inércia indica a tendência de um corpo em permanecer no seu estado de repouso ou de movimento. Assim, observa-se que quanto maior a massa desse corpo, maior a dificuldade em provocar-lhe uma aceleração ou uma desaceleração. De forma análoga, observa-se o efeito do momento de inércia na rotação como uma medida de resistência que um corpo oferece a alterações no seu estado de movimento de rotação e essa medida depende da posição em que o eixo se situa em relação ao centro de massa do corpo (SEARS, ZEMANSKI e YOUNG, 1985; MACHADO, 2014).

Dessa forma, entende-se que o momento de inércia de uma peça/corpo/objeto assume na rotação o papel que era na translação desempenhado pela massa e tem variação no seu valor de acordo com a forma que a massa do corpo é distribuída em relação ao eixo de rotação (MACHADO, 2014). Se a massa do objeto for distribuída de forma mais homogênea em relação ao eixo de rotação tem-se menor momento de inércia e se a distribuição da massa for mais heterogênea tem-se maior momento de inércia. Contudo, observa-se que se no movimento de translação a massa tem o seu valor medido, no movimento de rotação o momento de inércia tem o seu valor calculado a partir de equações

próprias para cada modelo de corpo (BEER, *et al.* 2012, p. 518) - **Equação 11** deduzida nesse trabalho -, mas, também pode ser determinado a partir da equação rotacional análoga à equação da força, ou seja, a partir da equação do torque (SEARS, ZEMANSKY e YOUNG, 1985, p. 214) - **Equação 21** deduzida nesse trabalho.

O DISPOSITIVO E A METODOLOGIA DO TRABALHO

O dispositivo utilizado para a atividade proposta nesse trabalho é o ilustrado na **Figura 1**, constituído basicamente por um disco cilíndrico oco que, partindo do repouso, é impulsionado por um corpo acelerador preso a ele por meio de um fio inextensível e de massa desprezível, que gira em torno de um eixo fixo, perpendicular ao seu plano e situado no seu centro de massa.

Para construir o disco cilíndrico oco, usinou-se na oficina mecânica do câmpus uma placa de MDF (*Medium Density Fiberboard*). Na superfície da linha externa desse disco, fez-se um sulco de aproximadamente 1 mm de profundidade no qual fixou-se a extremidade de um fio fino de algodão, passando o disco a funcionar como um cordel. Na extremidade desse fio prendeu-se um corpo metálico, o corpo acelerador. Para a realização da atividade foi necessário o uso de outros equipamentos já disponíveis no laboratório como hastes, tripés, garras ou mangas metálicas e instrumentos de medidas: balança eletrônica, régua metálica, sensores de tempo e cronômetro digital.

A pesquisa de cunho experimental deu-se com a determinação do momento de inércia do disco oco por meio de dois métodos distintos e foi finalizada com o cálculo do percentual de erro entre os valores encontrados em cada método. No primeiro método determinou-se o valor do momento de inércia da peça pela sua equação própria - **Equação 11** - e no segundo método determinou-se o valor do momento de inércia a partir da equação do torque - **Equação 21**.

Figura 1- A montagem do sistema



Fonte: autoria própria.

EQUAÇÃO DO MOMENTO DE INÉRCIA DE UM DISCO CILÍNDRICO OCO

Para se determinar a equação do momento de inércia de um disco cilíndrico oco com eixo perpendicular à sua face plana e situado em seu centro de massa parte-se da **Equação 1**:

$$I = \int_m r^2 dm \quad (1)$$

em que (I) representa o momento de inércia, (r) o raio do disco e (dm) um elemento diferencial de massa do disco. Utilizando-se da definição de massa específica (ρ) e também da regra da cadeia, podemos escrever o diferencial de massa em função de um diferencial de volume (V), como pode ser observado nas **Equações 2 e 3**:

$$\rho V = m \quad (2)$$

$$dm = \rho dV + V d\rho \quad (3)$$

Como o disco possui massa específica constante, o termo ($d\rho$) torna-se nulo, de forma que o diferencial de massa pode ser escrito pela **Equação 4**:

$$dm = \rho dV \quad (4)$$

Para melhor relacionar o momento de inércia do disco com suas dimensões, pode-se então reescrever o diferencial de massa em função do raio do disco. Para isso, utiliza-se da definição de volume de um disco e também a sua diferencial, que podem ser observadas nas **Equações 5 e 6**, respectivamente:

$$V = \pi r^2 L \quad (5)$$

$$dV = 2\pi r L dr \quad (6)$$

na qual (L) representa a espessura do disco. Relacionando agora as equações 1, 4 e 6, pode-se escrever a equação do momento de inércia em função dos raios interno, do furo do disco (R_1) e externo (R_2) do disco, como pode ser observado na **Equação 7**:

$$I = 2\rho\pi L \int_{R_1}^{R_2} r^3 dr \quad (7)$$

Resolvendo a integral e aplicando os limites de integração, obtém-se o momento de inércia do disco em função de suas dimensões, apresentado na **Equação 8**:

$$I = \frac{\rho\pi L}{2} (R_2^4 - R_1^4) \quad (8)$$

A fim de se obter o momento de inércia em função da massa do disco, pode-se relacionar as **Equações 2 e 5**, sendo essa última adaptada para um disco cilíndrico oco, com a equação 8, obtendo a **Equação 11**:

$$\rho = \frac{m}{\pi L (R_2^2 - R_1^2)} \quad (9)$$

$$I = \frac{m}{2} (R_2^2 + R_1^2) \quad (10)$$

$$I = \frac{m}{8} (D_2^2 + D_1^2) \quad (11)$$

Define-se então, pela **Equação 11**, a expressão do momento de inércia para um disco cilíndrico oco com eixo perpendicular à sua face plana e situado em seu centro de massa em função de sua massa e diâmetro interno e externo. Na qual

(m) é a massa do disco cilíndrico oco, (D_2) é o diâmetro externo do disco e (D_1) é o diâmetro do furo do disco. Assim, para realizar as medidas dessas grandezas usam-se balança eletrônica, paquímetro e régua. A medida do diâmetro externo não se realiza com o paquímetro pois a sua extensão excede a capacidade de medida do instrumento.

EQUAÇÃO DO MOMENTO DE INÉRCIA OBTIDO A PARTIR DO EFEITO DO TORQUE

Toda força aplicada sobre um objeto provoca a sua translação? Sabe-se que não. Há várias outras situações, que não são objetos de estudos desse trabalho, que, além da força, podem influenciar na ocorrência ou não de um movimento. De forma análoga, observa-se que nem todo torque aplicado sobre um objeto provoca a sua rotação. Por isso, Hibbeler (2005, p.85) define torque como uma grandeza física relacionada a tendência de rotação:

Quando uma força é aplicada a um corpo, ela produzirá uma tendência de rotação do corpo em torno de um ponto que não está na linha de ação da força. Essa tendência de rotação algumas vezes é chamada de torque, mas, normalmente é denominada de momento de uma força ou simplesmente momento.

Na busca do conceito de força encontra-se basicamente sua definição como sendo uma grandeza física vetorial capaz de provocar deformações em um objeto e/ou alterar o seu estado de movimento de translação. Frise-se: capaz! Ou seja, a aplicação de uma força por si só não garante a realização de movimento, então, de forma análoga, define-se torque como uma grandeza física vetorial associada à tendência a um movimento de rotação (HIBBELER, 2005; TIPLER e MOSCA, 2006; RESNICK e HALLIDAY, 2006; MACHADO, MACHADO e MACHADO, 2017).

Se uma força efetivamente provocar alterações no movimento do objeto, provocará no mesmo uma aceleração já o torque, por sua vez, poderá provocar uma aceleração angular. Assim, o célebre físico Isaac Newton definiu em sua Segunda Lei a equação de força ($\Sigma F = m.a$).

De forma análoga à equação determinada por Isaac Newton, conforme citam Sears, Zemansky e Young (1985, p.214), pode-se indicar a equação do torque (Γ) enquanto agente causador de alterações no movimento de rotação por:

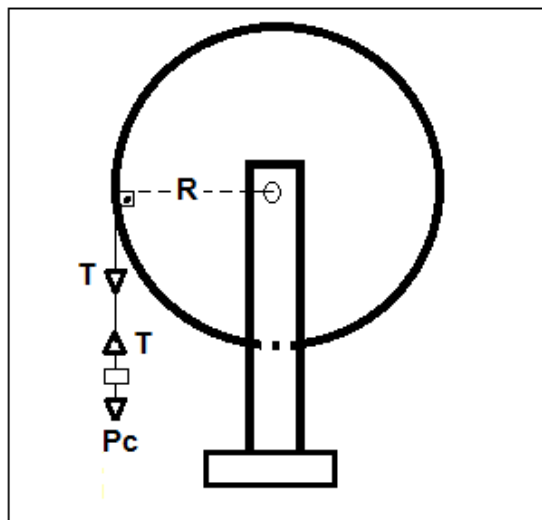
$$\Gamma = I \cdot \alpha \quad (12)$$

em que (I) corresponde ao momento de inércia do objeto em relação ao eixo de rotação e (α) é a aceleração angular produzida pela ação do torque. Assim, observa-se que o momento de inércia da peça que recebe a ação do torque pode ser obtido por:

$$I = \Gamma / \alpha \quad (13)$$

Ao se observar a **Figura 2**, pode-se determinar a equação do torque aplicado sobre o disco oco, torque esse originado pela ação da força de tração do fio de algodão.

Figura 2 – O esquema de forças atuantes no sistema



Fonte: autor.

Em uma análise das forças atuantes na peça aceleradora, obtém-se a **Equação 14** em que (F) corresponde a força resultante no corpo, (Pc) seu peso e (T) a tração no fio.

$$F = Pc - T \quad (14)$$

Sabendo pela segunda lei de Newton que a força atuante em um corpo corresponde à sua massa multiplicada por sua aceleração, que o peso corresponde à massa do corpo multiplicado pela aceleração da gravidade, podemos escrever a tração no fio conforme a **Equação 15**:

$$T = m (g - a) \quad (15)$$

Aplicando agora o conceito de torque e observando a **Figura 2**, pode-se verificar que o torque aplicado sobre o disco ocorre consiste na tração do fio multiplicado pelo braço dessa força, que corresponde ao raio do disco. Com isso, podemos escrever tal torque por:

$$\Gamma = m (g - a) \cdot \frac{De}{2} \quad (16)$$

Associando torque com momento de inércia e sabendo que a aceleração angular corresponde à variação da velocidade angular em função do tempo, podemos escrever o momento de inércia como:

$$I = m (g - a) \cdot \frac{De}{2} \cdot \frac{1}{\alpha} \quad (17)$$

Podemos agora determinar os valores de **a** e **α** em função das demais variáveis que foram obtidas experimentalmente. Para isso, isolamos (**a**) na **Equação 18** e a utilizamos para encontrar (**α**) por meio da **Equação 19**.

$$Y = Yo + Vo \cdot t + a \cdot \frac{t^2}{2} \quad (18)$$

$$\alpha = \frac{a}{R} \quad (19)$$

Se da equação 18 tem-se que $a = 2\Delta Y / \Delta t^2$, para $v_0 = \text{zero m/s}$ e, da **Equação 19** tem-se $\alpha = (2\Delta Y) / (\Delta t^2 \cdot R)$, em que $R = De / 2$, pode-se agora substituir (**a**) e (**α**),

na equação 17, obtendo o valor do momento de inércia em função de todos os parâmetros determinados experimentalmente, como pode ser observado na **Equação 20**.

$$I = m \left(g - \frac{2 \cdot \Delta Y}{\Delta t^2} \right) \cdot \frac{De^2}{8} \cdot \frac{\Delta t^2}{\Delta Y} \quad (20)$$

Ou ainda, de forma simplificada, temos o momento de inércia do disco oco apresentado no seguinte modo:

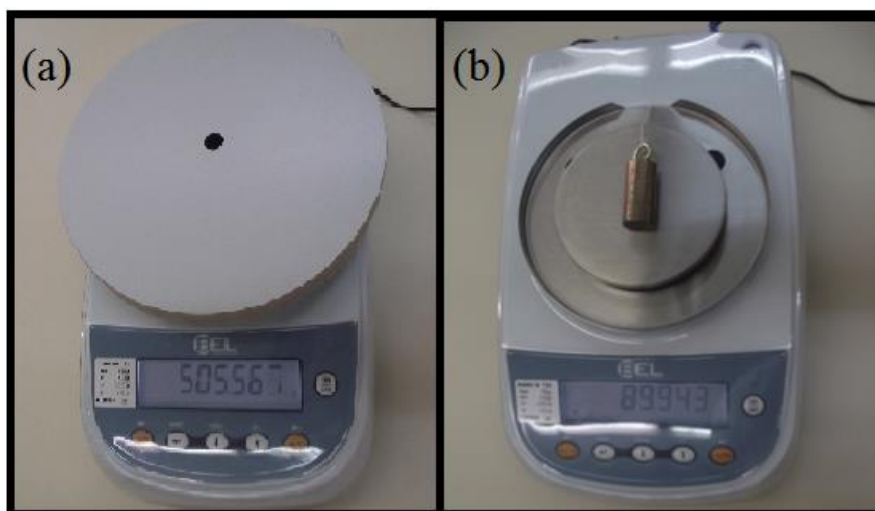
$$I = m (g \cdot \Delta t^2 - 2 \cdot \Delta Y) \cdot \frac{De^2}{8 \cdot \Delta Y} \quad (21)$$

Define-se então, pela **Equação 21**, a expressão do momento de inércia - obtida a partir da equação do torque - para um disco cilíndrico oco com eixo perpendicular à sua face plana e situado em seu centro de massa em função da massa do disco (m), gravidade local (g), tempo de atuação do torque (Δt), altura de queda da peça aceleradora ou distância entre sensores (ΔY) e o diâmetro externo do disco (De). Assim, para realizar as medidas dessas grandezas usam-se balança eletrônica, régua e sensores acoplados a um cronômetro digital.

AS MEDIDAS E OS RESULTADOS

Em uma balança eletrônica mediu-se a massa do disco obtendo-se 505,567 gramas (**Figura 3-a**) e da peça aceleradora encontrando-se 89,943 gramas (**Figura 3-b**).

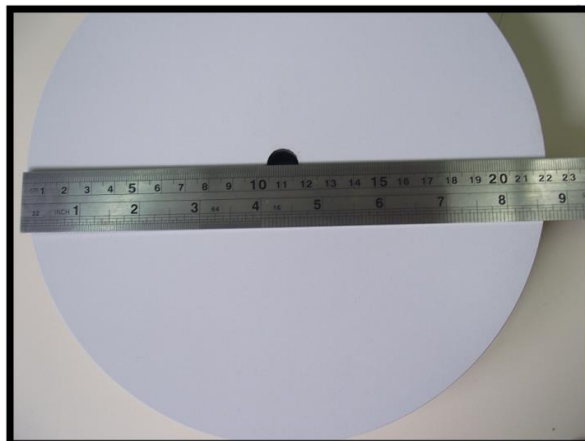
Figura 3 - Medidas das massas do disco e do corpo acelerador



Fonte: autor.

Mediu-se com uma régua metálica o diâmetro externo, 221,0 mm, (De) e o diâmetro do furo, 12,9 mm, do disco (Df), conforme mostra a **Figura 4**.

Figura 4 - Diâmetro externo e diâmetro interno do disco



Fonte: autor.

O sistema foi montado apoiado em hastes cilíndricas, preso por meio de mangas metálicas e sustentado por tripés. O posicionamento horizontal do eixo do sistema - que permitiu uma rotação plana da peça de MDF - foi verificado com um nível.

A fim de determinar o tempo de rotação do disco cilíndrico, posicionou-se dois sensores (**Figura 1**) a 204,0mm de distância um do outro, acoplados a um cronômetro, alinhados verticalmente com a direção pela qual o corpo acelerador passa quando é liberado. Tomaram-se cinco medidas de tempo e trabalhou-se com o valor mais provável das cinco medidas, ou seja, a média dos tempos. Usou-se o valor da aceleração da gravidade local de $9,78718\text{m/s}^2$ (MACHADO, 2014, p. 38).

Os critérios adotados para o tratamento dos dados foram o de converter todas as medidas encontradas para o Sistema Internacional de Medidas e fazer o arredondamento nos cálculos observando o limite de precisão pelo instrumento/medida que apresentou a menor precisão. Dessa forma, partindo das medidas mostradas anteriormente, os valores das medidas de tempo, massa do disco e da peça aceleradora, diâmetro externo do disco e do furo e a altura de queda determinada pela distância entre os sensores, encontrados e utilizados para cálculos podem ser observados na **Tabela 1**.

Tabela 1- Medidas obtidas experimentalmente

N	Δt [s] ($\pm 0,001$)	M [kg] ($\pm 0,002\text{g}$)	m [kg] ($\pm 0,002\text{g}$)	D_e [m] ($\pm 0,5\text{mm}$)	D_f [m] ($\pm 0,5\text{mm}$)	Δy [m] ($\pm 0,5\text{mm}$)
1	0,386					
2	0,396					
3	0,401	0,505567	0,089943	0,2210	0,0129	0,2040
4	0,399					
5	0,396					

Fonte: autor.

Os valores encontrados de momento de inércia utilizando-se das **Equações 11** e **21**, limitados à precisão de três algarismos significativos, foram de aproximadamente $0,00310 \text{ kgm}^2$ e $0,00303 \text{ kgm}^2$, respectivamente, apresentando percentual de erro comparativo de aproximadamente 2,26%. Para o cálculo do percentual de erro considerou-se o momento de inércia determinado pela **Equação 21** como sendo o valor mais provável ou valor referência por ser uma medida mais precisa. O limite deu-se pelo cronômetro cuja precisão está na casa do milésimo de segundo, pois “[...] determina-se que a precisão da medida indireta de uma grandeza será obtida a partir da precisão das medidas que lhe derem origem e será determinada pelo limite de precisão, dada pela medida menos precisa” (MACHADO, *et al.*, 2018, p. 57).

Observa-se que houve uma variação nos tempos encontrados em cada uma das amostras. Entre o menor e o maior tempo encontrados a variação deu-se em 15 milésimos de segundos, causada principalmente pelo ajuste manual da peça aceleradora em relação ao seu ponto de partida, ou seja, na iminência do movimento junto ao primeiro sensor e também por possíveis erros acidentais causados por trepidações do sistema. Por existir essa variação é que se optou por realizar os cálculos utilizando um valor médio entre as cinco amostras de tempo encontradas. Contudo, realizando uma sondagem entre as cinco medidas de tempo obtidas, por verificar-se que há medidas maiores e medidas menores que a medida média utilizada nos cálculos e, ao observar a **Equação 21** em que o valor do tempo médio foi aplicado, percebe-se que as grandezas tempo e momento de inércia são diretamente proporcionais.

Assim, há tempos na amostra, os maiores que a média, que poderiam tornar os resultados obtidos para o momento pela **Equação 21** ainda mais próximos dos obtidos a partir da **Equação 11**, reduzindo ainda mais o resultado do percentual de erro. E, para um dos tempos em especial (0,399 s) se utilizado na **Equação 21** seria obtido o mesmo valor, no limite de precisão de três algarismos significativos, do momento de inércia encontrado a partir da aplicação da **Equação 11**. Nesse caso o percentual de erro comparativo entre os valores encontrados para as duas metodologias e suas respectivas equações, resultaria em zero por cento.

CONCLUSÃO

O ensaio desenvolvido apresentou para o valor do momento de inércia obtido a partir da equação própria do disco cilíndrico o valor de $0,00310 \text{ kg.m}^2$ e para o momento de inércia obtido a partir da equação do torque o valor de $0,00303 \text{ kg.m}^2$. Ao calcular o percentual de erro comparativo entre esses valores obteve-se, para a média dos tempos medidos, o valor de 2,26%. Observa-se, porém, que para uma das medidas de tempo encontradas, se fossem refeitos os cálculos, o percentual de erro comparativo encontrado seria de 0,00%. Justifica-se o uso do tempo médio pelas variáveis que podem influenciar na sua medida: ajuste manual do posicionamento inicial da peça aceleradora na eminência do movimento junto ao primeiro sensor e também por eventuais oscilações e/ou trepidações do sistema. Assim, entende-se que ao se levar em consideração o material utilizado, a objetividade da metodologia proposta e os resultados encontrados, a atividade proposta apresenta-se como uma alternativa viável para o uso em laboratórios didáticos em cursos de engenharia para a determinação experimental do momento de inércia da peça em questão.

Sugere-se que alguns ajustes sejam feitos no sistema como, por exemplo, posicionar a peça aceleradora na iminência do movimento com o auxílio de um eletroímã. O ajuste manual da peça aceleradora em posição que não seja exatamente a de iminência do movimento pode provocar erros na marcação do tempo tanto por uma velocidade inicial da peça aceleradora diferente de zero quanto por produzir possíveis oscilações laterais no disco cilíndrico. Nesse sentido, para se evitar essas oscilações do disco, faz-se necessário cuidar para que na produção do disco o diâmetro do seu furo seja o mais próximo possível do diâmetro do eixo evitando-se assim folgas entre eles. Sugere-se também o uso de óleo lubrificante ou grafite entre o eixo e o furo do disco para reduzir atritos.

Moment of Inertia of a Hollow Cylindrical Disc: Didactic Laboratory Testh

ABSTRACT

This article presents an essay on an experimental activity developed for the teaching of Physics in Engineering courses in a didactic physics laboratory. In this activity, the moment of inertia of a hollow cylindrical disc with an axis perpendicular to its flat face and situated in its center of mass was determined by two different methods. In one of the methods the moment of inertia was determined from the use of its own equation and in the other method the torque equation was used, the quantity responsible for the angular impulse caused on the cylindrical disc. At the end of the activity, the values found were compared by means of the error percentage calculation and the result was 2.26% for the mean of the measured times and zero% for a specific value between the measured times.

KEYWORDS:Physics; Physics Teaching; Didactic laboratory; Moment of inertia.

Momento de inercia de un disco cilíndrico hueco: ensayo em laboratório didático

RESUMEN

El presente artículo presenta relato de ensayo de una actividad experimental desarrollada para la enseñanza de Física en cursos de Ingeniería en un laboratorio didático de Física. En esta actividad se buscó determinar por dos métodos distintos el momento de inercia de un disco cilíndrico hueco con eje perpendicular a su cara plana y situado en su centro de masa. En uno de los métodos se determinó el momento de inercia a partir del uso de ecuación propia y en el otro método se utilizó la ecuación del torque, grandezza responsable por el impulso angular provocado sobre el disco cilíndrico. Al final de la actividad los valores encontrados fueron comparados por medio del cálculo de porcentaje de error y se obtuvo el resultado del 2,26% para el promedio de los tiempos medidos y el 0% para un valor específico entre los tiempos medidos.

PALABRAS CLAVE: Física; Enseñanza de Física; Laboratorio didático; Momento de inercia.

REFERÊNCIAS

BEER, F.P. *et al*, **Mecânica Vetorial para Engenheiros: estática**. 9 ed., Porto Alegre: AMGH, 2012.

BEER, F.P.; JOHNSTON Jr, E.R., **Mecânica Vetorial para Engenheiros: dinâmica**. 7.ed., Rio de Janeiro: McGraw-Hill, 2006.

HIBBELER, R. C. **Mecânica para engenharia**. v1. São Paulo, SP: Prentice Hall, 2005.

MACHADO, V. Determinação do momento de inércia de uma barra retangular com eixo fora de seu centro de massa: uma atividade experimental. **Revista Brasileira de Física Tecnológica Aplicada**, v.1, n.2, p. 35-42, 2014.

MACHADO, V.O.O., *et al*. Uma atividade experimental sobre Medidas no laboratório didático de Física em cursos de Engenharia. **Revista Brasileira de Física Tecnológica Aplicada**, Ponta Grossa, v. 5, n.1, p. 54-66, 2018.

MACHADO, V., MACHADO, V.O.O, MACHADO, P.L.O. Do conceito de Torque ao seu efeito: um ensaio no laboratório. **Revista Iluminart**, n. 14, p. 64-74, 2017.

RESNICK, R.; HALLIDAY, D., **Fundamentos de Física**, v. 2, 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

SEARS, F.; ZEMANSKY, M.W.; YOUNG, H.D. **Física: mecânica da partícula e dos corpos rígidos**, v.1, Rio de Janeiro: LTC, 1985.

TIPLER, P. A.; MOSCA, G. **Física para Cientistas e Engenheiros**. v. 1. ed. LTC.2006.

Recebido: 14 de março de 2019.
Aprovado: 24 de abril de 2019.

DOI:

Como citar: MACHADO, V.; MACHADO, P.L.O.; MACHADO, V.O.O. Momento de Inércia de um Disco Cilíndrico Oco: ensaio em laboratório didático, **Revista Brasileira de Física Tecnológica Aplicada**, Ponta Grossa, v. 6, n.1, p. 01-13, abril de 2019.

Contato: Vinicius Machado: vinmac@utfpr.edu.br

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

