



**Universidade Federal do
Rio de Janeiro**

Programa de pós-graduação em
Ensino de Física
Campus Macaé



MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



FÍSICA EXPERIMENTAL EM SALA DE AULA MEDIANTE USO DO *SMARTPHONE* - MECÂNICA

Antonio Geraldo Ramalho Braga

Claudio Ccapa Ttira

Material instrucional associado à dissertação de mestrado de Antonio Geraldo Ramalho Braga, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro – Campus Macaé.

Macaé

Abril de 2017

SUMÁRIO

1	Introdução.....	3
2	Temas abordados.....	3
3	Procedimento experimental.....	4
4	Tratamento de dados.....	7
5	Primeira atividade – Movimento em um plano horizontal.....	10
6	Segunda atividade – Movimento em queda livre.....	16
7	Terceira atividade – Movimento no plano inclinado.....	18
8	Quarta atividade – Movimento circular uniforme.....	21
9	Quinta atividade – Movimento circular (roda da bicicleta).....	23
10	Sexta atividade – Movimento circular não uniforme.....	26
11	Sétima atividade – Movimento harmônico.....	29
12	Oitava atividade – A 2ª lei de Newton.....	31

1 Introdução

A produção de material didático propicia a indicação de quais objetivos de aprendizagem que se quer alcançar. De um modo geral deseja-se no processo de ensino e aprendizagem em física que os estudantes compreendam os princípios básicos das teorias científicas, raciocinando logicamente a respeito desses princípios, sendo capazes de aplica-los em situações diferentes e novas que possam vir posteriormente.

Ao longo de sua experiência em sala de aula, trabalhando com diferentes perfis de alunos assim como inúmeras dificuldades no ambiente de trabalho, o professor tem que desenvolver inúmeras metodologias no desenvolvimento dos objetivos aos quais se propõe alcançar. Baseado nessa premissa este material tem como objetivo fornecer subsídios que enriqueçam as aulas de Física por meio de uma orientação específica para a realização de experimentos relativos a determinados temas a serem apresentados.

O professor ao preparar uma aula com uma motivação diferenciada oferece ao aluno uma prática pedagógica que o proporciona a autonomia no desenvolvimento da atividade. Entre estas motivações está a inserção de tecnologias móveis no ensino como uma interação a mais entre professor e aluno.

Os *smartphones* são produtos úteis, ágeis e versáteis, sendo objeto de grande utilidade em termos de agilidade na comunicação de muitos, principalmente os adolescentes. Inúmeros modelos de diversas marcas oferecem aplicativos e sensores interessantes que se tornam grandes atrativos. O melhor caminho em termos de educação é utilizá-los como recursos que favoreçam a aprendizagem e a curiosidade, buscando respostas por informação e conhecimento.

2 Temas abordados

Com as limitações impostas pelos sensores do *smartphone* em termos de experimentos nas várias partes em que a Física é estudada, as práticas experimentais mais acessíveis são referentes à Mecânica com o uso dos sensores: acelerômetro e o giroscópio, podendo ser usado em experimentos pontuais o magnetômetro (campo magnético) e o luxímetro (iluminância).

Os temas indicados constituem-se em uma sequência de itens interligados que o professor pode expor de maneira prática junto com a teórica na comprovação dos conceitos apresentados.

3 Procedimento experimental

Em um laboratório a precisão e a rapidez de medidas efetuadas são fundamentais para a compreensão e análise de conceitos e experimentos. A velocidade dos dados gravados e apresentados faz do computador um instrumento eficaz em um laboratório moderno na comparação com um laboratório tradicional que não o utiliza, pois traz ao estudante uma gama de opções em atividades desenvolvidas na execução de experimentos. O acesso à visualização gráfica e análise imediata torna possível melhorar a qualidade dos resultados obtidos possibilitando uma comparação melhor com os resultados previamente estabelecidos.

No laboratório “móvel” o procedimento de laboratório pode ser resumido através do esquema mostrado na figura abaixo.



A Figura 3.1, mostra um ciclo, um processo repetitivo, significando que o experimento pode ser repetido várias vezes, para aperfeiçoar o experimento, até que os padrões, as relações entre as grandezas físicas em estudo, sejam evidentes e serem compatíveis com os modelos teóricos.

A aquisição de dados pelos sensores do *smartphone* nos experimentos realizados é feita através de um aplicativo que armazena os dados num arquivo de extensão *comma separated values* (.csv), o que permite que sejam salvos em um formato de tabela estruturada em forma de coluna, podendo ser usado com qualquer programa de planilha como o Microsoft Excel, as Planilhas do Google ou o Open Office 5.0, sendo os dados coletados, enviados via cabo ou sem fio ao computador para serem analisados.

A preparação e utilização do *smartphone* em um experimento segue um roteiro para gravação dos dados experimentais.

Os sensores utilizados nos experimentos estão disponíveis na loja virtual Play Store, onde é encontrado e instalado o *Physics Toolbox Suite*, que é o aplicativo pelo qual se tem acesso aos sensores utilizados.



Figura 3.2 a



Figura 3.2 b

A figura 3.2 a, representa o preparo do *smartphone* com a indicação do ícone referente ao aplicativo Suite a ser usado com o acelerômetro na gravação dos dados.

A figura 3.2 b, através da seta (A), mostra a tela do *smartphone* com os valores gravados no experimento.

Na figura 3.2 a, representa a abertura inicial da tela do *smartphone* com a indicação do aplicativo a ser usado no experimento e ao toque a tela revela o aplicativo com os sensores a serem utilizados. No experimento demonstrado, foi usado através de um toque, o acelerômetro. A figura 3.2 b, a tela indica a representação do início da gravação dos dados experimentais, através do toque na tecla com o símbolo (+), que passa para (o).



Figura 3.3 a

Figura 3.3 b

Figura 3.3 a, indica na tela do *smartphone*, a tecla (o) a ser usada para a gravação dos dados experimentais.

A figura 3.3 b é a indicação na tela onde será dado nome ao arquivo para os dados gravados no experimento e posterior envio a uma pasta de armazenamento no *smartphone*.

Os dados são gravados durante o experimento enquanto aparecer na tela o símbolo (o), figura 3.3 a. O término é determinado ao tocar o símbolo (o) aparecendo o símbolo (+), o que faz com que se apresente uma nova tela, figura 3.3 b, determinando o nome que se quer dar ao arquivo gravado.



Figura 3.4 a

Figura 3.4 b

A figura 3.4 a, representa os locais onde o arquivo de dados gravados (.csv) são enviados. A figura 3.4 b, indica as pastas onde os arquivos são salvos, para posterior abertura e representação gráfica pelo Excel.

Ao ser inserido um nome ao arquivo, o mesmo é destinado a uma pasta, figura 3.4 a. Escolhendo uma dessas pastas (a escolhida no exemplo foi a ES Salvar para), se abrirá uma nova tela figura 3.4 b, indicando a pasta onde o arquivo será enviado ao computador.

4 Tratamento de dados

Representação gráfica com a Planilha do Microsoft Excel

A indicação representativa de um experimento através de um gráfico é um fator determinante para sua análise e conclusão dos resultados obtidos.

Em uma primeira análise de uma representação gráfica, a visualização inicial indica a reprodução gravada dos dados de todo o processo experimental.

A visualização de várias grandezas físicas determinadas em um experimento representadas em um único gráfico faz com que a análise e a conclusão sejam mais abrangentes e detalhadas quanto à forma de comparação.

Um experimento é verificado e comprovado se os valores experimentais e teóricos estão de acordo. O valor teórico de um experimento com os dados gravados tem na representação matemática uma indicação de erro, o que torna o resultado duvidoso, fazendo com que se torne necessário um novo experimento.

Em um movimento retilíneo, com a gravação dos dados da aceleração, a velocidade é determinada pela relação.

$$a_i = \frac{dv}{dt}$$

$$\int_{v_{i-1}}^{v_i} dv = a_i \int_{t_{i-1}}^{t_i} dt$$

$$v_i = v_{i-1} + a_i(t_i - t_{i-1})$$

O valor determinado com a substituição dos valores pode ser comparado com o valor representado no gráfico para efeito de análise.

	A	B	C	D	E
1	time	x	y	z	
2	0,024	-1,24	-0,03	1,33	
3	0,025	-1,09	-0,32	1,34	
4	0,026	-0,62	0,24	0,58	
5	0,028	-0,8	-0,03	0,33	
6	0,036	-0,98	-0,09	0,37	
7	0,061	-0,77	0,07	0,71	
8	0,062	-0,58	-0,07	0,42	
9	0,066	-0,48	-0,11	0,5	
10	0,076	-0,58	-0,03	0,52	

Figura 4.1: Representação da apresentação dos dados gravados de um experimento na planilha do Excel.

Os dados ao serem enviados ao computador são salvos em uma pasta de arquivos no formato (. csv) e quando é aberta, são representados em forma de planilha no Microsoft Excel, figura 4.1, para representação gráfica.

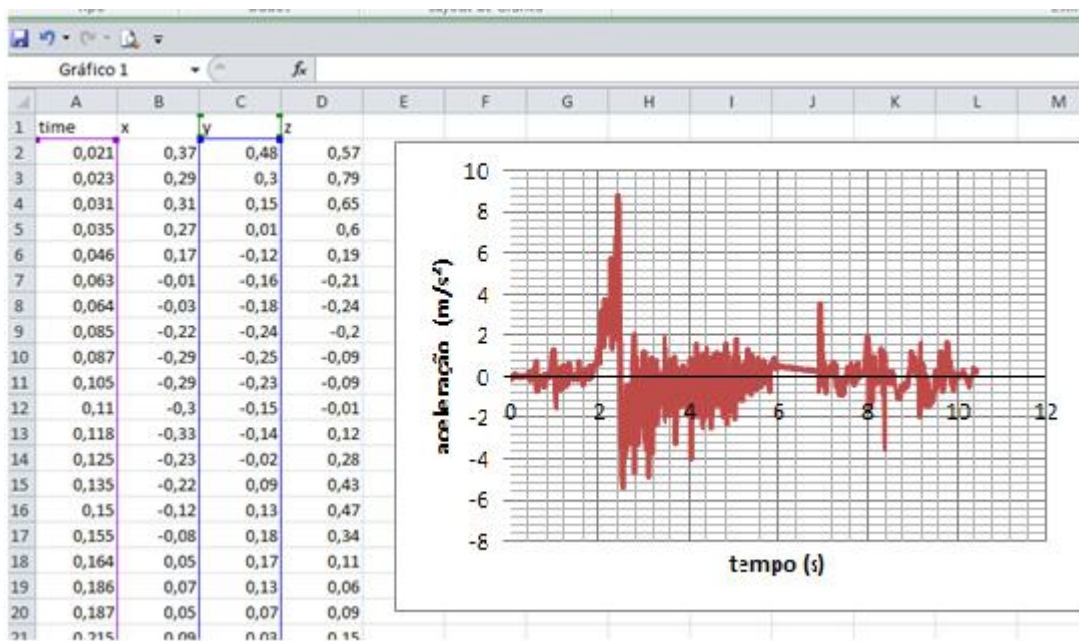


Figura 4.2: Representação de um experimento retilíneo horizontal usando o *smartphone* com escorregamento sobre uma mesa na determinação da aceleração do movimento.

As figuras podem conter ruídos (distorções) que se apresentam na tela figura 4.2, podendo confundir o estudante não experiente, isto faz com que o mesmo deva ficar atento para distinguir e excluir estes em uma análise final.

Depuração de um gráfico

A visualização de uma ou várias grandezas físicas determinadas em um experimento e representadas em um gráfico, faz com que a análise e a conclusão sejam mais abrangentes e detalhadas quanto a forma de apresentação.

Um experimento realizado e com os dados coletados, pode ser analisado com mais detalhes e precisão quando é representado através de um gráfico feito pelo computador com a planilha do Microsoft Excel ou Libre Office 5.0.

A seleção do eixo para análise dos dados obtidos no experimento é determinada inicialmente pela posição em que o *smartphone* iniciará o movimento. Como o movimento é horizontal a seleção pode ser com o eixo x ou com o eixo y.

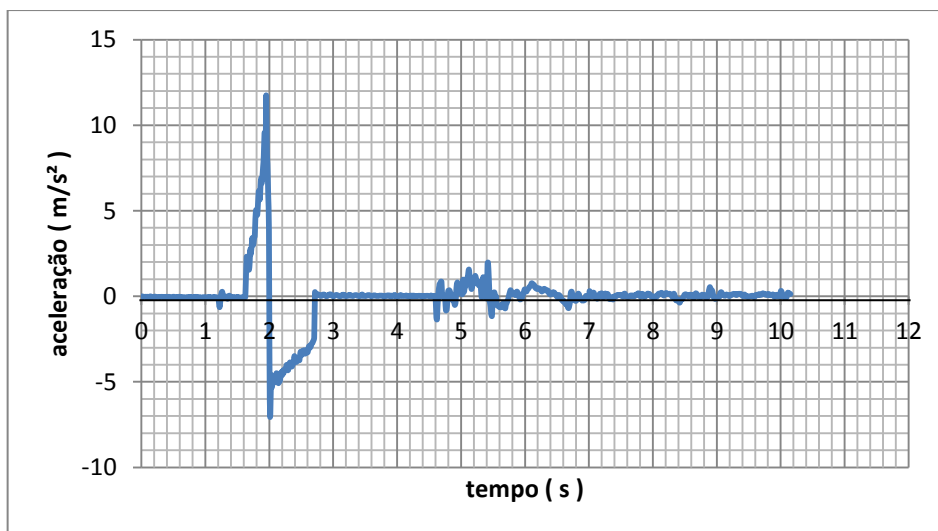


Figura 4.3: Representação gráfica da aceleração adquirida pela plataforma (carrinho Lego e *smartphone*) conforme a figura 4.2, em um movimento retilíneo horizontal através de uma força de impulsão, usando como referência o eixo y indicativo do sensor acelerômetro.

Em uma primeira análise relativa ao gráfico apresentado na figura 4.3, o tempo total (eixo horizontal) da realização do experimento foi de aproximadamente 10 segundos (intervalo de tempo entre início e término da gravação dos dados), indicando: o tempo de preparo do aparelho na posição correta, o tempo efetivo do experimento e o tempo final em que os dados gravados são salvos e enviados a uma pasta para posterior representação gráfica.

O tempo efetivo para análise do experimento corresponde ao intervalo entre 1,4 segundos e 2,8 segundos, com o restante do tempo sendo descartado por não ter utilidade na conclusão dos dados a serem examinados.

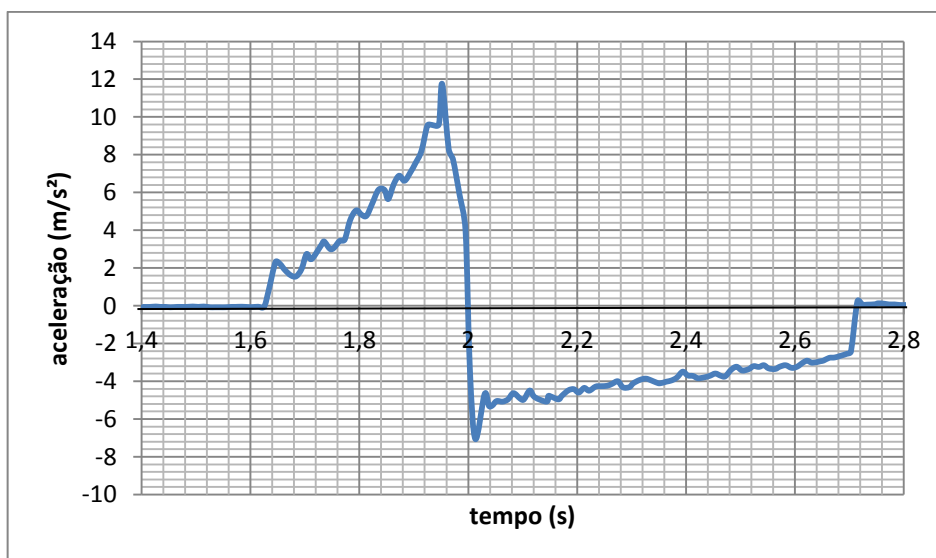


Figura 4.4: Gráfico depurado do movimento representado na figura 4.3, com a utilização do tempo útil para uma melhor visualização, análise e conclusão do experimento realizado.

5 Primeira atividade – Movimento em um plano horizontal

Movimento realizado com a plataforma (*smartphone* e carrinho lego) em um plano horizontal na verificação das grandezas físicas envolvidas: aceleração, velocidade, força aplicada, impulso recebido e energia cinética.

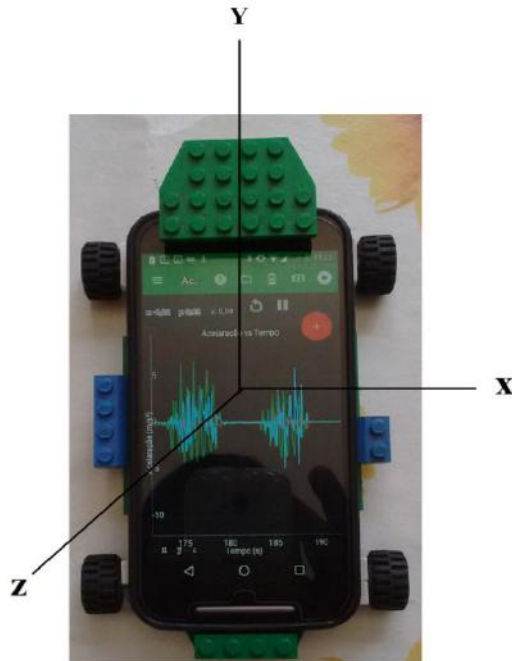


Figura 5.1: Plataforma com a indicação no *smartphone* de seus respectivos eixos coordenados, realizando um movimento retilíneo horizontal e tomando como referência o eixo y, através de uma força impulsiva.

Em um primeiro momento o movimento é realizado com a aplicação de uma força de impulsão que provoca uma aceleração de pico e depois desacelerando devido ao atrito estático decorrente do momento de inércia das rodas do carrinho lego.



Figura 5.2: Representação visual da aceleração em um movimento retilíneo devido a uma força impulsiva.

O início do movimento é representado graficamente pela aceleração que a plataforma adquire ao receber uma força que a impulsiona, registrando a dependência temporal dessa força através do sensor acelerômetro.

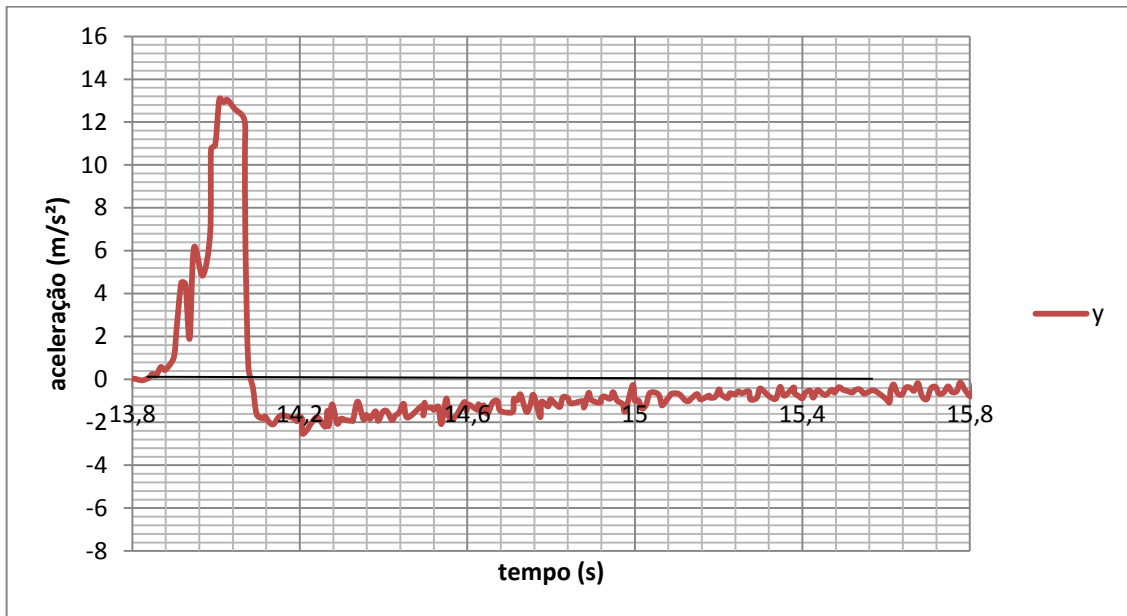


Figura 5.3: Aceleração adquirida pela plataforma em um movimento retilíneo horizontal.

Com um valor de pico de $13,08 \text{ m/s}^2$ e um valor médio negativo devido a desaceleração provocada pela força de atrito estático do momento de inercia das rodas do carrinho lego, de $(-1,81 \text{ m/s}^2)$. A força impulsiva produz uma aceleração total de $14,89 \text{ m/s}^2$ em um intervalo de tempo $\Delta t = (14,088 - 13,800) = 0,288$ segundos.

Velocidade a partir da aceleração

Em um movimento estudado na cinemática, quando o corpo adquire aceleração devido à aplicação de um agente externo, a velocidade é determinada iterativamente a partir dos dados gravados da aceleração que varia, com a aplicação da equação.

$$a_i = \frac{dv}{dt}$$

$$\int_{v_{i-1}}^{v_i} dv = a_i \int_{t_{i-1}}^{t_i} dt$$

$$v_i = v_{i-1} + a_i(t_i - t_{i-1}) \quad (5 A)$$

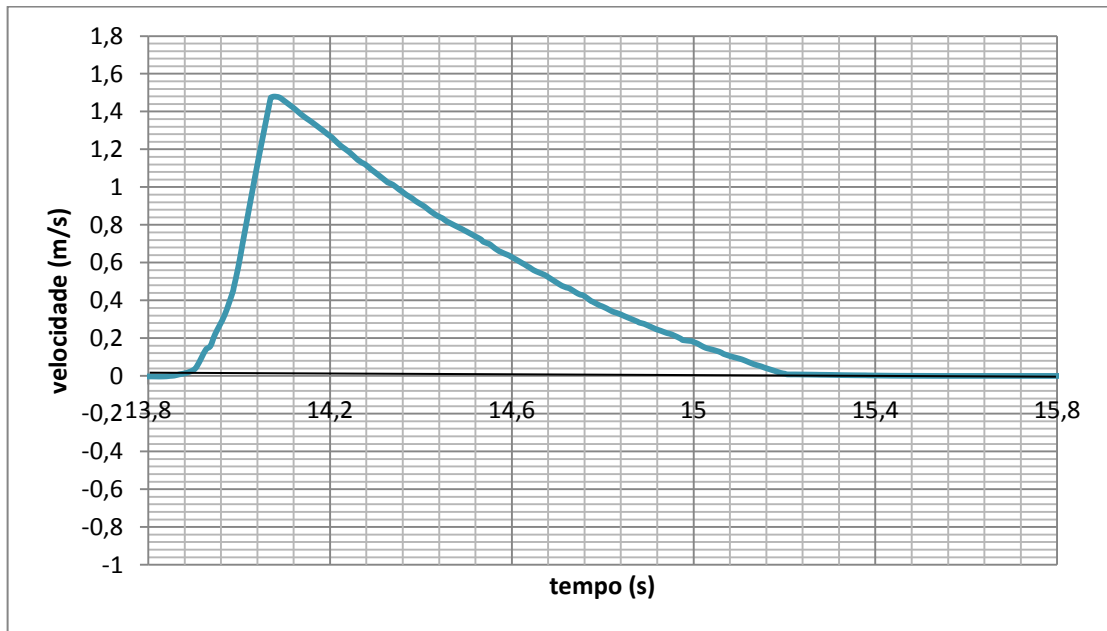


Figura 5.4: Representação gráfica da velocidade máxima que a plataforma adquire no instante em que recebe a força impulsiva.

Obs: A nível de ensino médio, a equação (5 A) é tratada de acordo com valores iniciais e finais do movimento. Considerando a aceleração constante ao longo do movimento, o intervalo de tempo é tomado com o valor inicial e final do movimento e o mesmo ocorrendo com a velocidade. A equação usada fazendo uma equivalência passa a ser:

$$v = v_0 + a (t - t_0)$$

Com, v_i correspondendo à velocidade final, v_{i-1} a velocidade inicial e o mesmo ocorrendo com o intervalo de tempo. Uma aplicação é sintetizada em um experimento com um movimento horizontal por uma força impulsiva representada pela figura 5.2.

Tomando como referência a aceleração máxima na figura 5.3 e o intervalo de tempo de ocorrência da força impulsiva de 0,12 segundos, a velocidade máxima adquirida no início do movimento é de 1,5 m/s, conforme representação na figura 5.4.

Posição a partir da velocidade

A posição que o corpo ocupa ao longo do movimento é determinada a partir da equação aproximada que é válida para pequenos intervalos de tempo onde não há mudança brusca da velocidade.

$$x_i = x_{i-1} + v_i (t_i - t_{i-1})$$

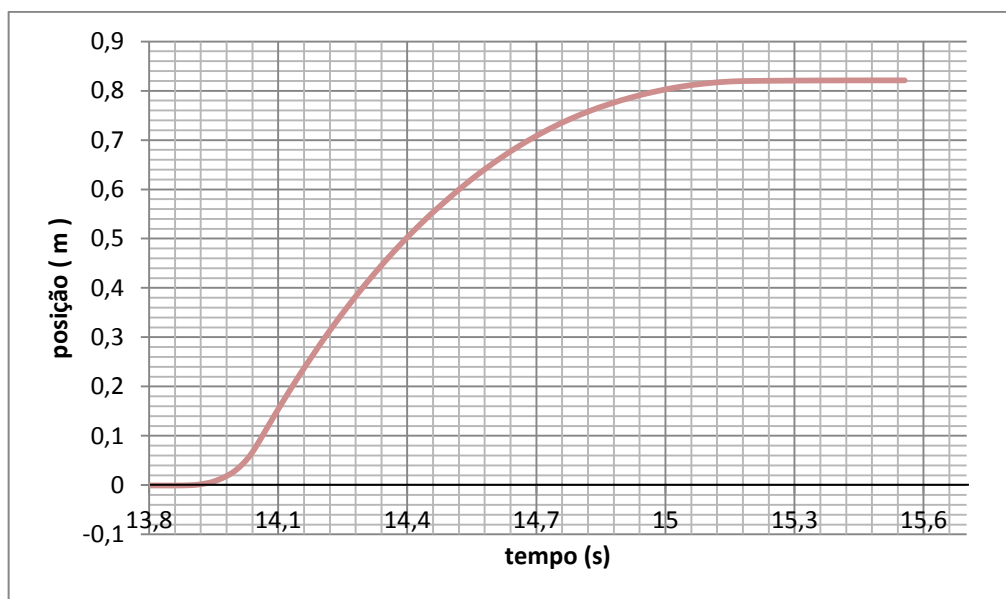


Figura 5.5: Representação gráfica da variação de posição ocupada pela plataforma ao longo do movimento indicado pela figura 5.2.

Com os valores encontrados da velocidade e o intervalo de tempo considerado no movimento do 0,9 segundos, a variação de posição no movimento corresponde a 0,82 m.

Em um experimento que envolva várias grandezas, a indicação dos valores encontrados podem ser representada em um único gráfico para efeito de comparação.

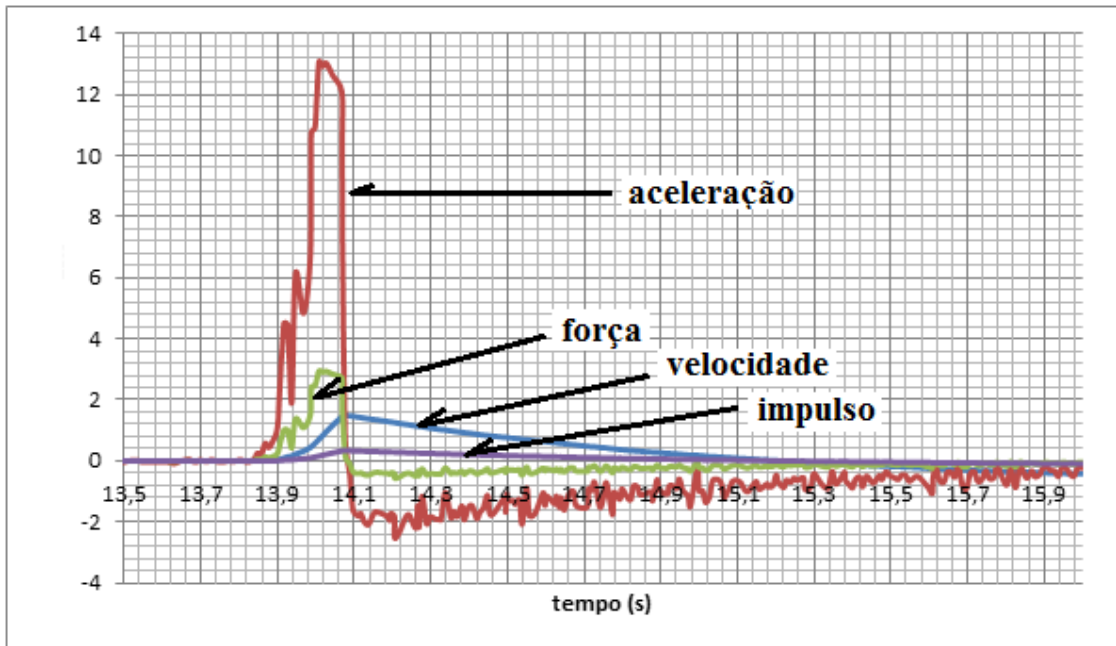


Figura 5.6: Representação gráfica de quatro grandezas envolvidas em um mesmo experimento realizado com a plataforma (smartphone e carrinho lego) em um movimento horizontal submetido a uma força impulsiva.

Na figura 5.6, a representação dos valores indicados é determinada inicialmente com a aceleração, através dos dados coletados e a partir do valor encontrado, a força aplicada é determinada pela relação.

$$F = m \cdot a \quad (1)$$

A massa, $m = 0,225 \text{ kg}$, corresponde à massa total da plataforma e a aceleração é a máxima indicada no gráfico da figura 5.3, de 13 m/s^2 , o valor da força aplicada no movimento corresponde a $F = 2,9 \text{ N}$. A velocidade é determinada pela relação (5 A).

Com a aceleração de 13 m/s^2 e o intervalo de tempo correspondente ao valor da aceleração máxima de $0,12 \text{ segundos}$. A velocidade máxima alcançada é $v = 1,6 \text{ m/s}$

O impulso (I) aplicado na plataforma é determinado pela relação.

$$I = m \cdot \Delta v \quad (2)$$

Substituindo os valores da massa e da velocidade, o valor encontrado para o impulso é: $I = 0,38 \text{ kgm/s}$

6 Segunda atividade - Movimento em queda livre

A queda livre é um experimento, que pode ser realizado em qualquer lugar que tenha algum objeto que faça elevação e um apoio para amortecer a queda do aparelho. O resultado obtido foi gravado através do sensor acelerômetro, com o aparelho 'caindo' na posição vertical (leitura de dados feita em relação ao eixo y).

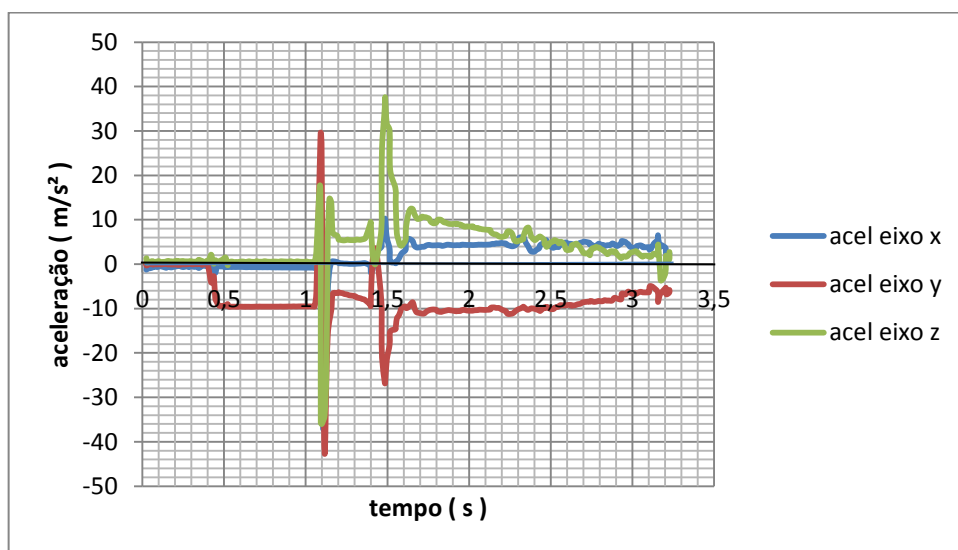


Figura 6.1: Representação gráfica no Excel dos dados gravados pelos eixos coordenados em um experimento sobre queda livre.

Com os dados adquiridos no experimento, os valores utilizados para análise e representação gráfica é determinado pelo eixo y e com a devida depuração, conforme a figura 6.2.

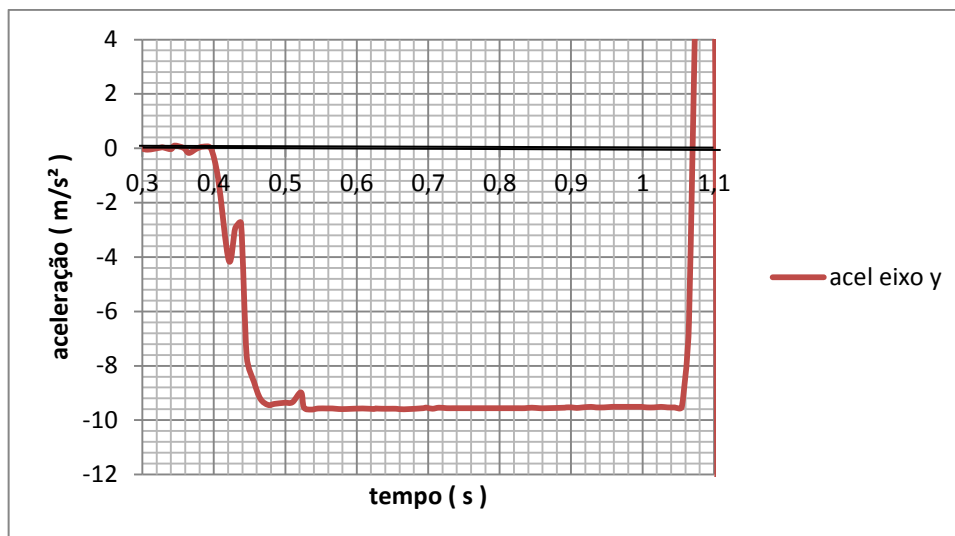


Figura 6.2: Gráfico com os valores depurados da figura 6.1, do valor da aceleração no movimento da queda livre.

Os dados da figura 6.2, permitem que a partir de seus valores outras grandezas possam ser calculadas e representadas graficamente, como o indicado na figura 6.3.

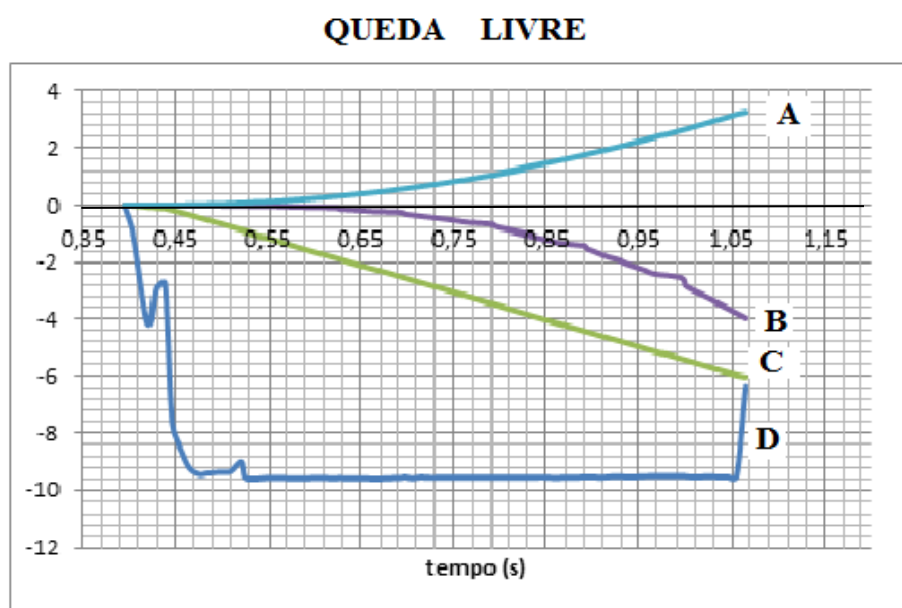


Figura 6.3: Representação gráfica de um movimento em queda livre feito com um *smartphone* de massa $m = 0,175$ kg, a uma altura de 2,20 m, em um intervalo de tempo de 0,70 s.

As representações gráficas são: Energia cinética (A), Energia Potencial (B), Velocidade (C) e Aceleração (D).

Os valores negativos da aceleração, velocidade e energia potencial são decorrentes do experimento ser efetuado com o *smartphone* sendo usado com a gravação dos dados no eixo y com a tela voltada para cima indicando sentido contrário ao movimento configurado pelo sensor acelerômetro.

A velocidade em cada momento no movimento, considerando a aceleração da gravidade igual à aceleração gravada através do acelerômetro no eixo y, $g = ay$, é determinada por:

$$v_i = v_{i-1} + g(t_i - t_{i-1})$$

O valor final encontrado para a velocidade no movimento é: $v = 6,4$ m/s e a energia cinética determinada usando a relação:

$$Ec = m \frac{v^2}{2}$$

Com os valores determinados, a energia cinética determinada é de $Ec = 3,6$ J. A energia potencial a partir do referencial zero é calculada pela relação: $Ep = m.g.(h_i - h_{i-1})$

O valor determinado é de: $Ep = 3,7$ J. Comparando os valores da energia cinética e potencial que são bem próximos e a representação gráfica, pode-se considerar que a energia se conserva durante o movimento de queda livre.

7 Terceira atividade - Movimento no plano inclinado

Na representação gráfica do movimento, a visualização permite identificar como foi realizado o experimento pelo padrão do gráfico apresentado.

Atrito estático e cinético

Forças que atuam entre superfícies em repouso relativo. A força máxima de atrito estático será igual a força mínima necessária para o início do movimento. Ao se iniciar um movimento as forças de atrito decrescem de modo que uma força menor mantenha o movimento relativo, que é o atrito cinético.

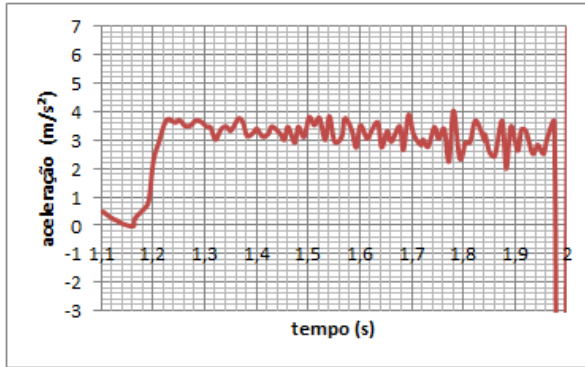


Figura 7.1a

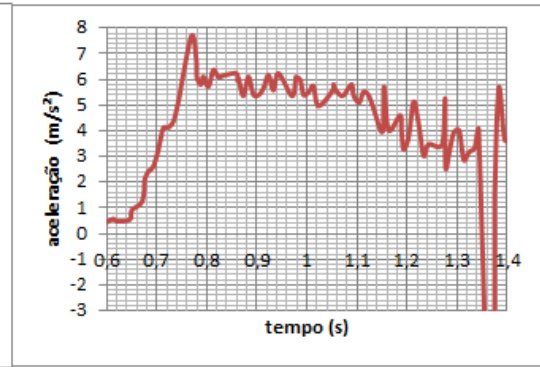


Figura 7.1 b

Os gráficos representativos das figuras 7.1a e 7.1 b correspondem ao movimento em um plano inclinado a 45° . Na figura 7.1 a, o movimento foi realizado com o *smartphone* deslizando sobre a superfície e na figura 7.1 b o movimento foi realizado com a plataforma (*smartphone* e carrinho lego).

A indicação nas figuras representam valores diferentes para a aceleração e o padrão da representação gráfica. Na figura 7.1 a, a aceleração indica um valor menor que o indicado na figura 7.1 b, porém mantendo um padrão constante ao longo do movimento. A figura 7.1 b indica uma aceleração inicial maior que a indicada na figura 7.1a, não mantendo um padrão constante tendo um valor final menor que o inicial.

A diferença de padrão na representação gráfica é decorrente de como foi feito o experimento. Na figura 7.1a, o experimento foi realizado com o *smartphone* escorregando pelo plano inclinado, caracterizando o movimento com atrito cinético (escorregamento). Na figura 7.1 b, o experimento foi realizado com a plataforma (*smartphone* e carrinho lego), caracterizando o movimento com atrito estático (rolamento) e o momento de inercia das rodas do carrinho.

Nas representações gráficas 7.1a e 7.1 b a área da figura formada em cada caso, indica o valor da variação da velocidade durante o movimento.

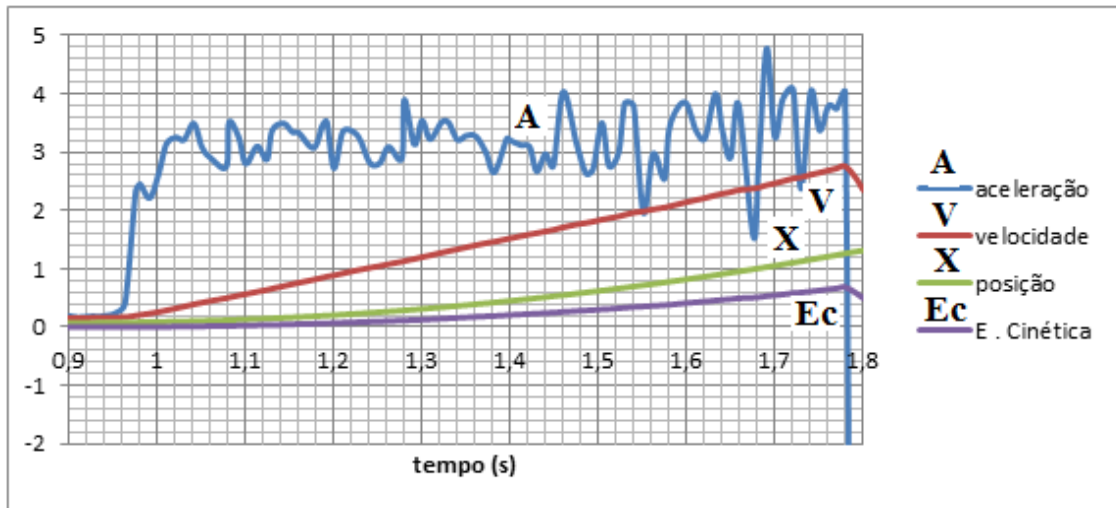


Figura 7.3: Representação de um experimento no plano inclinado a 45° por escorregamento. A aceleração (A) com um valor médio de $3,7 \text{ m/s}^2$ foi determinada diretamente dos dados gravados no *smartphone* através do sensor acelerômetro com distorções(ruídos) devidas às condições do experimento. As demais grandezas são determinadas pelas relações.

Velocidade (V)

$$v_i = v_{i-1} + a(t_i - t_{i-1})$$

Através dos valores indicados no gráfico, com $\Delta t = 1,78 - 1,02 = 0,76 \text{ s}$, a velocidade determinada é, $v = 2,8 \text{ m/s}$.

Posição (X)

$$x_i = x_{i-1} + v_i(t_i - t_{i-1}) + \frac{a}{2} (t_i - t_{i-1})^2$$

Com os valores calculados para a aceleração, intervalo de tempo e velocidade, a variação de posição determinada é: $x = 1,03 \text{ m}$.

Energia Cinética (Ec)

$$Ec = \frac{m}{2} (v_i - v_{i-1})^2$$

A Energia Cinética calculada com o valor da massa do *smartphone* sendo de $0,175 \text{ kg}$ é $Ec = 0,68 \text{ J}$. Valores condizentes com os obtidos graficamente.

8 Quarta atividade - Movimento Circular Uniforme

Movimento realizado ao longo de uma circunferência com a velocidade angular ω mantendo-se constante durante o movimento.



Figura 8.1: Representação de um experimento com o *smartphone* colocado sobre um toca vinil realizando um movimento de rotação horizontal em torno do próprio eixo. A seta (A) indica o valor da velocidade angular ω através do segmento de reta paralelo ao eixo horizontal, caracterizando um movimento circular uniforme. A seta (B) indica valores e indicadores do gráfico durante o movimento, tornando a imagem difusa e a seta (C) indica a formação do gráfico durante o movimento.

O experimento foi realizado com o *smartphone* realizando o movimento circular tomando como base de apoio um toca vinil com duas graduações de rotação, que são: 33 rpm e 45 rpm (rotação por minuto). Os dados foram gravados usando o sensor giroscópio, tomando como referência o eixo z no registro dos dados para realização da representação gráfica.

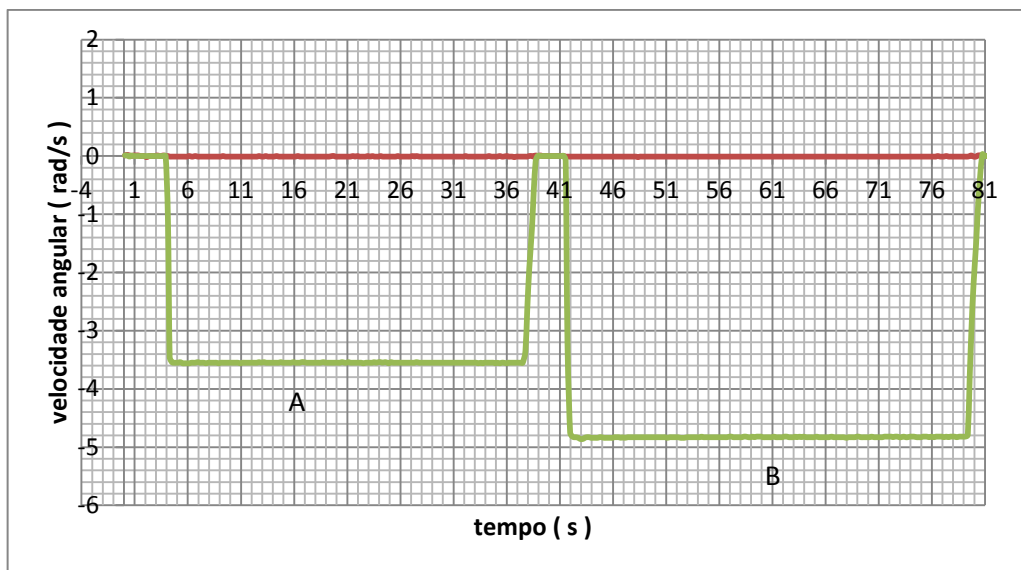


Figura 8.2: Representação gráfica da velocidade angular (ω) do movimento realizado por um *smartphone* sobre o eixo de rotação de um toca vinil com as velocidades respectivas de 33 rpm, gráfico (A) e 45 rpm, gráfico(B).

A velocidade angular é determinada pela equação.

$$\theta = \theta_o + \omega (t - t_o)$$

A aceleração angular é calculada por.

$$\alpha_i = \frac{\omega_i - \omega_{i-1}}{t_i - t_{i-1}}$$

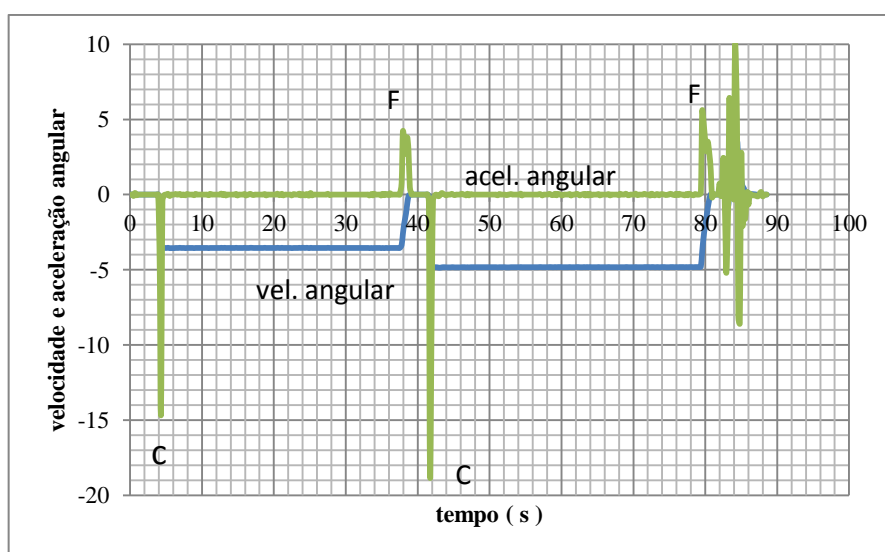


Figura 8.2.1: Gráfico comparativo entre a velocidade angular e aceleração angular em dois momentos de um movimento circular uniforme.

Em um movimento circular uniforme, com a velocidade angular constante, a aceleração angular é nula ao longo do movimento, com um valor impulsivo inicial (C) e final do movimento (F) devido à frenagem. A verificação experimental é constatada na visualização da figura 8.2.1.

O valor da velocidade é calculado pela equação:

$$v = \omega R$$

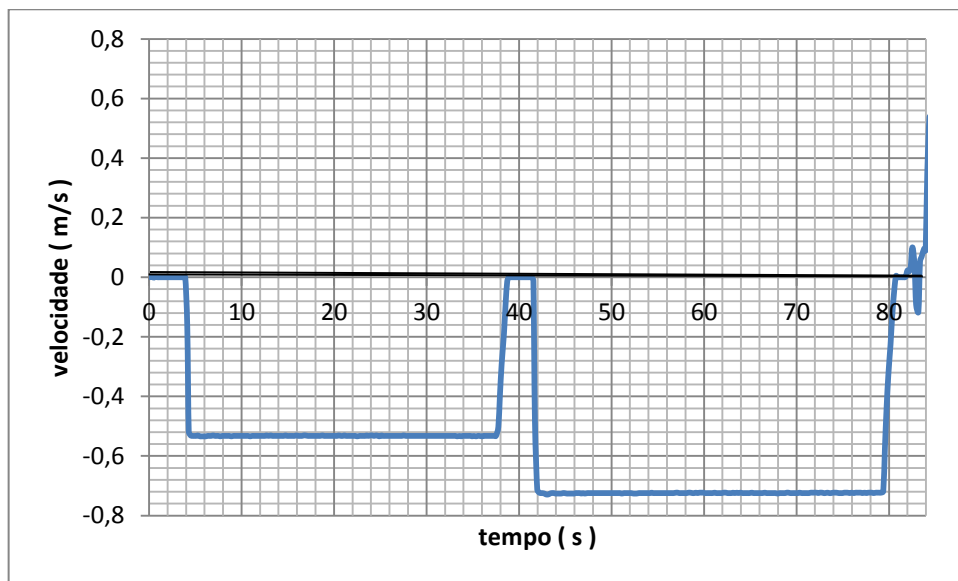


Figura 8.3: Representação gráfica da velocidade em módulo, tangenciando a trajetória descrita para 33 rpm e 45 rpm.

O período (T) do movimento e a frequência (f), são determinados por:

$$f = 2\pi \frac{1}{\omega} \quad \text{e} \quad T = \frac{1}{f}$$

Com o valor de ω dado através do gráfico na figura C.4.1, o calculo dos valores em relação ao gráfico (A) são: $v = 0,53 \text{ m/s}$, $\theta = 128,88 \text{ rad}$, $T = 1,7 \text{ s}$ e $f = 0,57 \text{ Hz}$.

9 Quinta atividade - Movimento circular (roda da bicicleta)

O movimento sendo circular e uniforme, a aceleração centrípeta terá módulo constante, pois o raio (R) é constante e a velocidade (v) em módulo também é constante. O módulo da aceleração centrípeta é dado por.

$$a_c = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R \quad (9.1)$$

Sendo \vec{v} o vetor velocidade, com o valor em módulo dado pela relação.

$$v = \omega R \quad (9.2)$$

Substituindo (9.2) em (9.1), a relação resultante é referente ao modulo da força centrípeta no movimento, cujo valor é:

$$F_c = m \omega^2 R \quad (9.3)$$

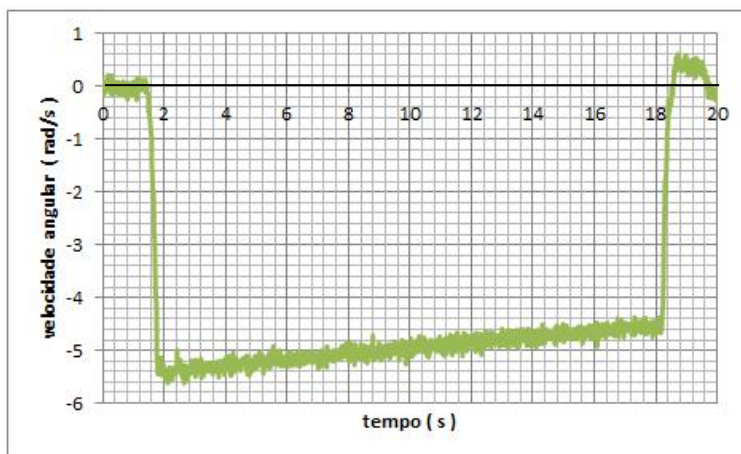


Figura 9.1a

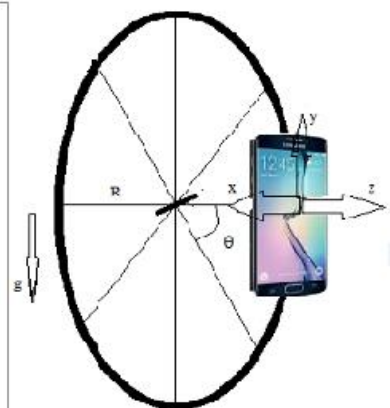


Figura 9.1 b

Figura 9.1 a: Gráfico usando o Microsoft Excel, indicando no eixo z do *smartphone* a velocidade angular do movimento da roda de bicicleta em função do tempo decorrido.

Figura 9.1 b: Roda de bicicleta de massa $m = 2$ kg e raio $R = 0,3$ m, com *smartphone* indicando os eixos coordenados e em um movimento circular, no sentido anti-horário.

O gráfico representativo da velocidade angular (ω) na figura 9.1 a, indica um valor médio devido a ruídos (vibrações) de aproximadamente 5 rad/s, valor este que pode ser considerado constante ao longo do movimento. Com o valor de ω e o intervalo de tempo de duração do experimento que é visto diretamente no gráfico, com valor de 16,7 segundos, o valor da variação angular θ durante todo o movimento é calculado pela relação (9.4), com o

valor de $\theta_0 = 0$ e $\Delta t = t_i - t_{i-1} = 16,7$ s, o valor determinado é $\theta = 83,5$ rad. O número de voltas (n) realizada durante o experimento é calculado por: $n = 83,5 / 6,28 = 13,3$ voltas.

$$\theta_i = \theta_{i-1} + \omega (t_i - t_{i-1}) \quad (9.4)$$

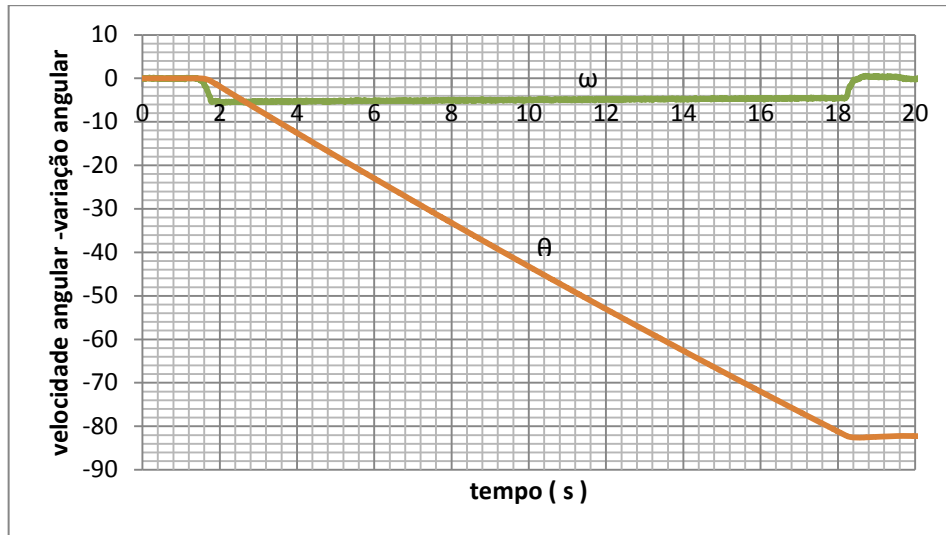


Figura 9.3: Gráfico comparativo entre velocidade angular (ω) e variação angular (θ) ao longo do experimento. O valor negativo indica o sentido horário do movimento.

Na realização do experimento com o *smartphone* na periferia da roda, a velocidade v é determinada por: $v = \omega.R = 5 \cdot 0,3 = 1,5$ m/s. A aceleração centrípeta (a_c) é calculada pelas relação (9.1), $a_c = (5)^2 \cdot 0,3 = 7,5$ m/s² tendo o valor da aceleração centrípeta, a força centrípeta (F_c) é calculada pela relação (9.3). $F_c = 2 \cdot (5)^2 \cdot 0,3 = 15$ N. Os valores médios devido a ruídos, calculados para este experimento estão condizentes com os valores médios representados graficamente na figura 9.4 abaixo.

Não havendo aceleração angular no (MCU), não haverá aceleração tangencial, mas sim aceleração normal devido à mudança de direção da velocidade.

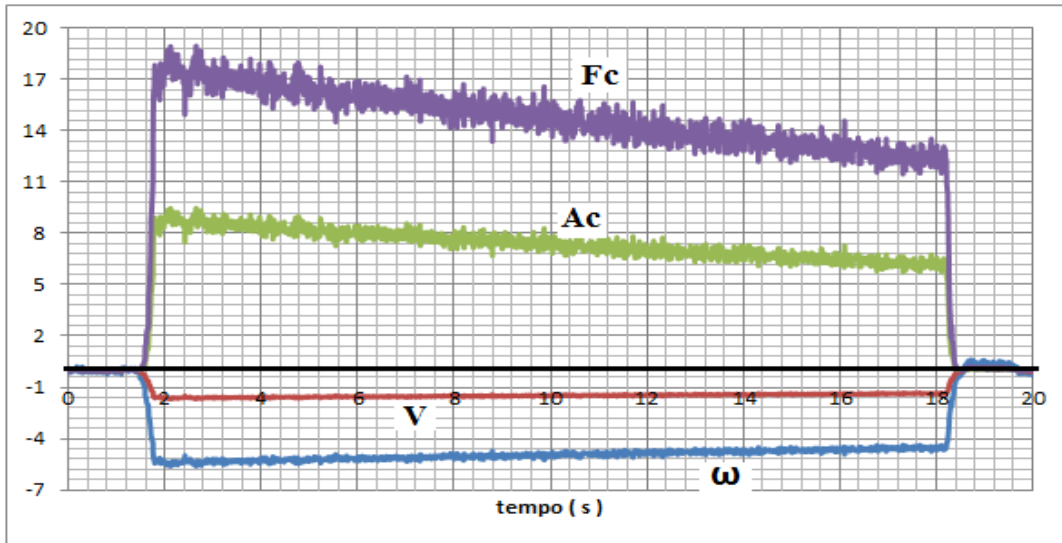


Figura 9.4: Gráfico comparativo das grandezas físicas atuantes em um movimento circular com uma roda de bicicleta. Na representação gráfica, a força centrípeta é indicada por (F_c), a aceleração centrípeta (A_c), a velocidade (V) e a velocidade angular (ω).

10 Sexta atividade - movimento circular não uniforme

No movimento circular em que a velocidade angular varia, $\frac{dr}{dt} = 0$, a aceleração angular (α) que indica a taxa de variação da velocidade angular em função do tempo, é representada por:

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} \quad (10.1) \quad \text{ou} \quad \alpha = \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

integrando a equação (10.1), $\int_{\omega_{i-1}}^{\omega_i} d\omega = \int_{t_{i-1}}^{t_i} \alpha dt$, encontramos:

$$\omega_i = \omega_{i-1} + \alpha_i (t_i - t_{i-1}) \quad (10.2)$$

Substituindo (10.2) em (10.1) e integrando temos a posição angular:

$$\theta_i = \theta_{i-1} + \omega_{i-1} (t_i - t_{i-1}) + \frac{\alpha}{2} (t_i - t_{i-1})^2 \quad (10.3)$$

No caso particular do movimento circular, obtemos para a aceleração tangencial (a_t) a expressão: $a_t = R \alpha$ e para a aceleração normal ou centrípeta a expressão: $a_n = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$.

Da relação, $F = ma$, se a massa é constante, temos que a força é paralela a aceleração e se concluí que a componente tangente à trajetória é a força tangencial, $F_t = ma_t$ ou $F_t = m \frac{dv}{dt}$ e que a componente perpendicular à trajetória é a força normal, $F_n = a_n$ ou $F_n = m \frac{v^2}{R}$, sendo R o raio de curvatura. A força tangencial é responsável pela variação de velocidade e a força normal que aponta para o centro de curvatura é responsável pela variação de direção da velocidade. Se a força tangencial for zero, não haverá aceleração tangencial e o movimento será uniforme. Se a força normal for zero, não haverá aceleração normal e o movimento será retilíneo.

Movimento de Rotação horizontal não uniforme

Movimento realizado por um corpo (*smartphone*) em um plano horizontal devido a uma rotação determinada pela torção em um barbante. O experimento realizado com *smartphone* preso em um arranjo feito com barbante conforme a figura 10.1, sendo dada na ponta do barbante de 0,5 m, várias torções no sentido anti-horário, fazendo com que o aparelho adquira um movimento de rotação horizontal.

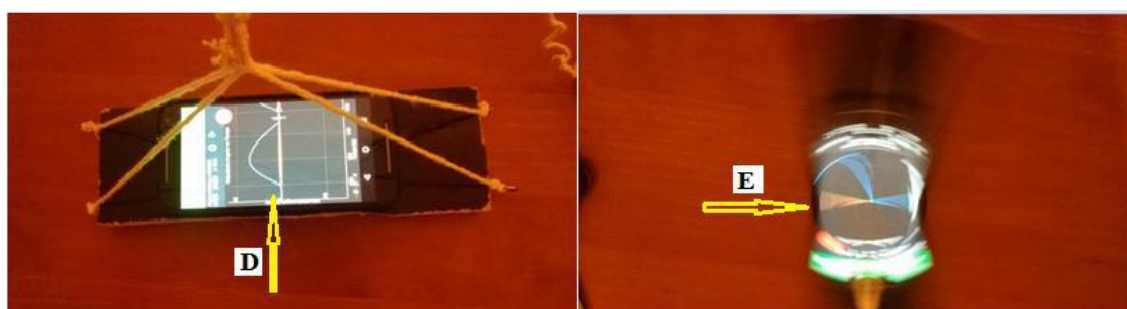


Figura 10.1: Representação de um experimento com o *smartphone* pendurado em uma plataforma de raio 0,1 m, suspensa por um barbante simulando o eixo de rotação, realizando um movimento de rotação horizontal em torno do próprio eixo. A seta (D) indica o valor da variação da velocidade angular através da curva formada, caracterizando um movimento circular uniformemente variável. A seta (E) indica a formação do gráfico durante o movimento, tornando a imagem difusa.

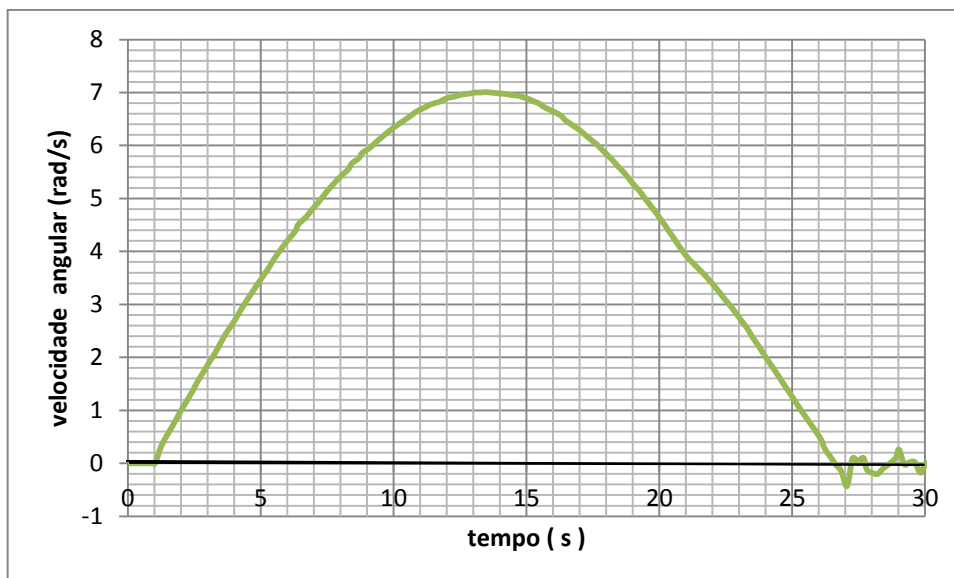


Figura 10.2: Representação gráfica da velocidade angular determinada pela leitura dos dados adquiridos no eixo z do *smartphone* em relação ao movimento representado na figura 10.1.

O movimento foi realizado em sentido anti-horário, pelo valor positivo na determinação gráfica da velocidade angular e com o valor encontrado variável ao longo do experimento indicando um movimento circular variável.

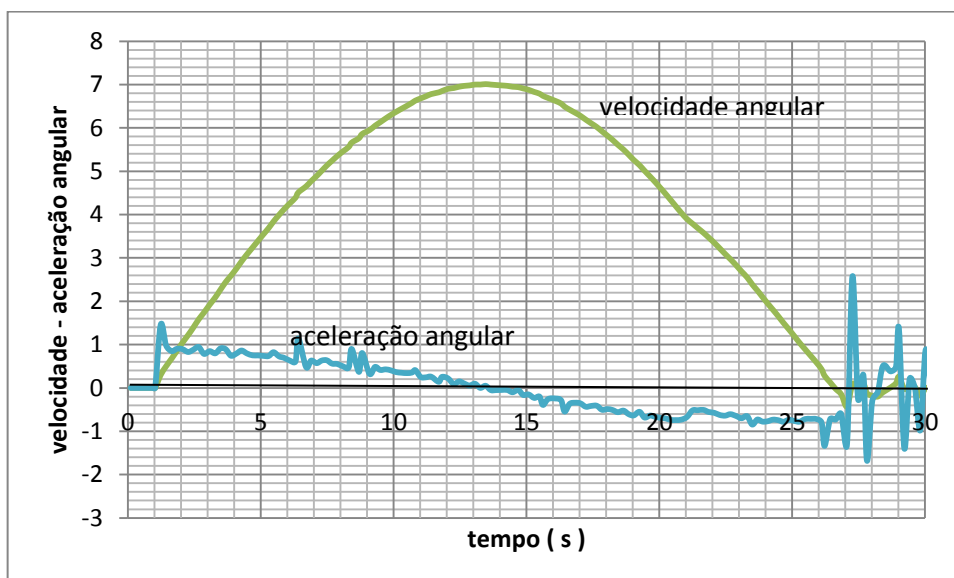


Figura 10.3: Gráfico comparativo da velocidade angular e aceleração angular no experimento relativo ao movimento circular representado na figura 10.1.

A aceleração angular devido ao movimento ser variável tem um valor máximo no início do movimento determinado de: $\alpha = 1,0 \text{ rad/s}^2$, decrescendo ao longo do movimento, tornando-se nula quando a velocidade angular tem valor máximo e negativa com o decréscimo e parada do movimento.

A aceleração angular é determinada pela relação.

$$a_i = \frac{d\omega}{dt}$$

Resultando após uma integração, a equação representativa do gráfico da aceleração angular.

$$\alpha_i = \frac{\omega_i - \omega_{i-1}}{t_i - t_{i-1}}$$

11 Sétima atividade - Movimento Harmônico

O Movimento Harmônico Simples (MHS) é aquele onde o deslocamento ao longo de um eixo (x) em relação a origem do sistema de coordenadas é dado em função do tempo pela relação

$$x = A \text{ sen } (\omega t + \alpha) \quad (11.1)$$

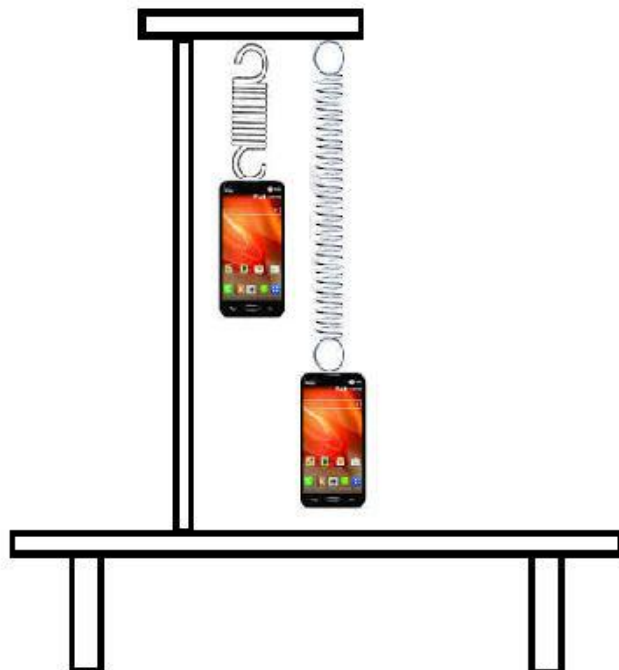


Figura 11.1: Representação de um movimento massa mola com o *smartphone* realizando um movimento harmônico.

Sendo $(\omega t + \alpha)$ a fase do movimento e (α) a fase inicial quando $(t = 0)$. A função definida como senoidal, pode ser considerada também como cossenoidal, estando a uma diferença de $(\pi/2)$ na fase inicial. Como a função varia de $[(-1) \text{ a } (+1)]$, o deslocamento varia de $[(-A) \text{ a } (+A)]$, onde (A) é o deslocamento máximo em relação a origem e denominada de amplitude do movimento. A função representativa do movimento repete-se cada vez que o ângulo aumenta de (2π) e o deslocamento a cada intervalo de tempo, que indica o movimento como periódico e o período (T) indicado por, $T = \frac{2\pi}{\omega}$. A frequência (f) do movimento é igual ao número de oscilações completas por unidade de tempo, dada por, $f = \frac{1}{P}$. Sendo (ω) denominada frequência angular ou pulsação, a relação com a frequência do movimento e o período é:

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \quad (11.2)$$

A velocidade no movimento a partir da equação (11.1) é:

$$v = \frac{dx}{dt} = \omega A \cos(\omega t + \alpha) \quad (11.3).$$

Analogamente, a aceleração no movimento, a partir da equação (11.3) é:

$$a = \frac{dv}{dt} = -\omega^2 A \sin(\omega t + \alpha) = -\omega^2 x \quad (11.4)$$

Indicando que a aceleração é proporcional e de sentido oposto ao deslocamento.

Força no movimento harmônico

A força que atua em uma massa que oscila em movimento é: $F = m a$, substituindo a aceleração por (11.4), temos: $F = -m\omega^2 x = -k x$, sendo: $k = m \omega^2$ (k é a constante elástica) ou,

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (11.5)$$

Indicando que a força é proporcional e de sentido contrário ao deslocamento, apontando para a origem que é o ponto de equilíbrio, para o movimento obtemos a equação do período,

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (11.6)$$

e da frequência,

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}. \quad (11.7)$$

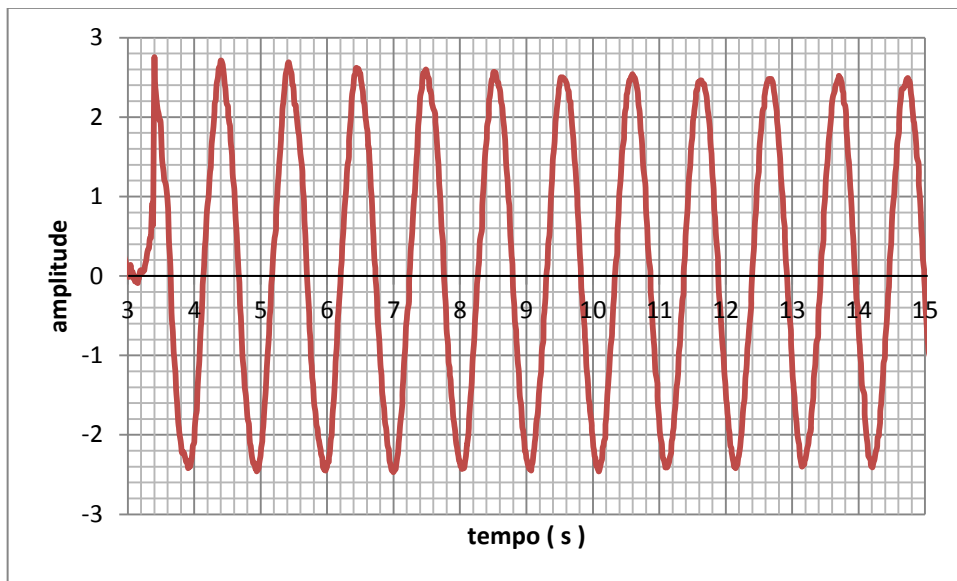


Figura 11.2: Representação gráfica do experimento referente à figura 4.61 com um pequeno intervalo de tempo na verificação do período que é de 1,04 segundos.

Com os valores da massa do aparelho de 0,175 kg. A constante elástica da mola k e determinada substituindo os valores na relação (11.6), $k = 6,4$ N/m e a velocidade angular determinada por (11.5) é $\omega = 6,06$ rad/s.

12 Oitava atividade - A 2ª lei de Newton

Aceleração e 2ª lei de Newton

Utilizando o acelerômetro do dispositivo móvel, o objetivo é determinar a aceleração do movimento. A montagem inicial é realizada com o *smartphone* colocado em um carrinho lego que serve como plataforma para a realização do movimento a ser estudado. Também se faz necessário a colocação de uma polia acoplada a uma mesa e uma massa pendurada de 50 g. O experimento é realizado segurando o conjunto colocado sobre a mesa, com massa total de 230 g, de modo que a tela do *smartphone* esteja paralela à superfície de apoio e deixando que se movimente sobre a mesa devido à força peso da massa pendurada por um determinado intervalo de tempo, segurando o conjunto no final da queda e finalizando a medição.

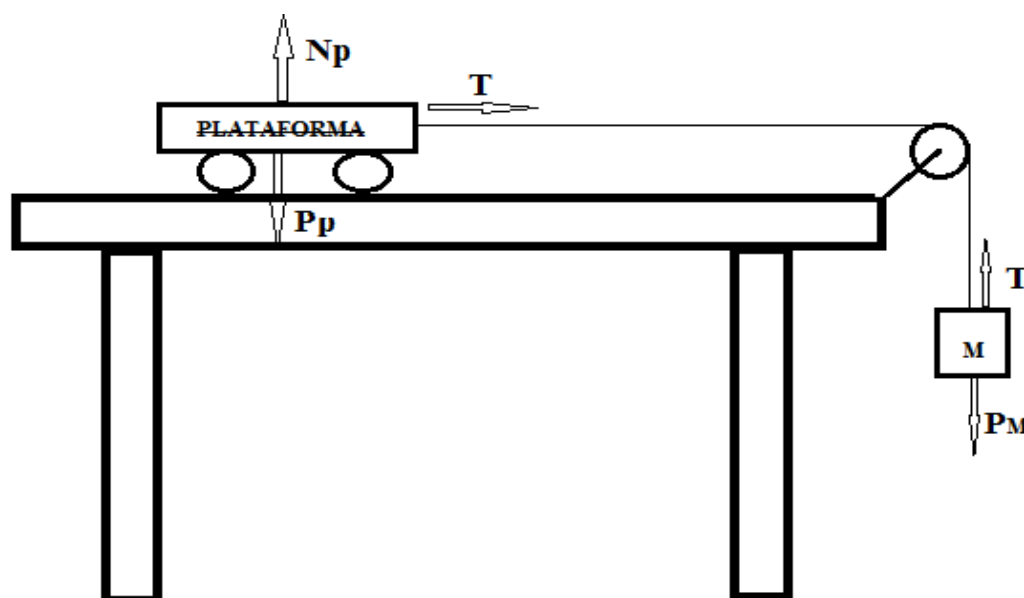


Figura 12.1: Representação da montagem do experimento envolvendo força de tração e a 2ª Lei de Newton. No esquema as forças representadas estão indicadas por: P_P é a força peso que atua na plataforma, P_M é a força peso da massa M , N_P é a força normal à superfície e a força de tração T .

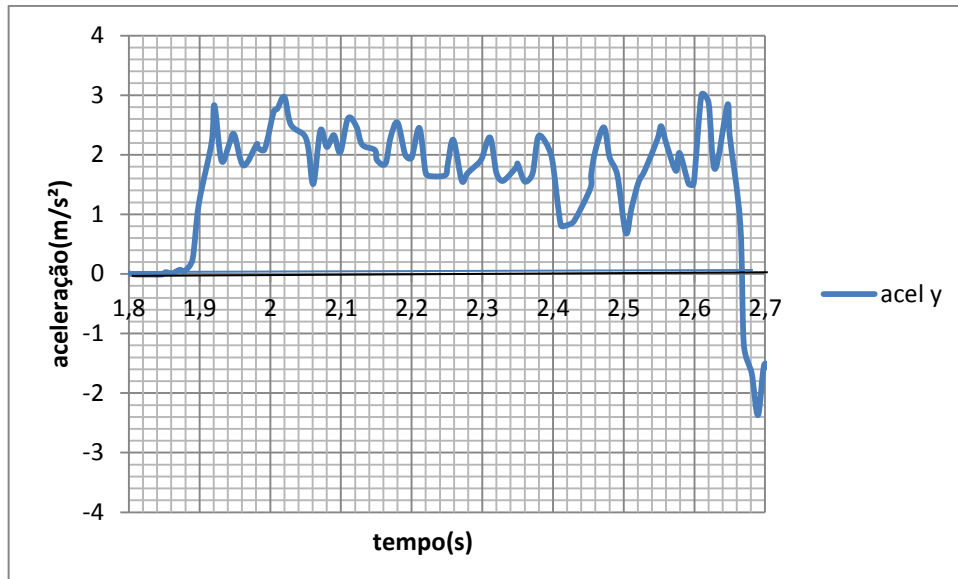


Figura 12.2: Representação gráfica da aceleração adquirida pela plataforma conforme o experimento representado na figura 12.1.

A determinação da aceleração no movimento, de acordo com a 2ª Lei de Newton é obtida pela relação.

$$F_R = m \cdot a \quad (12.1)$$

A força resultante na plataforma é nula, $P_p - N_p = 0$ e a força resultante no sistema é dada por.

$$P_M = (M + m_p) a \quad (12.2)$$

Sendo a massa da plataforma, $m_p = 0,230$ kg e a massa do corpo pendurado $M = 0,050$ kg, encontramos a aceleração adquirida pela plataforma, substituindo os valores na relação (12.2), $a = 2,2$ m/s², valor condizente com o valor médio da aceleração representada no gráfico da figura 12.2, não se considerando o atrito durante o movimento.

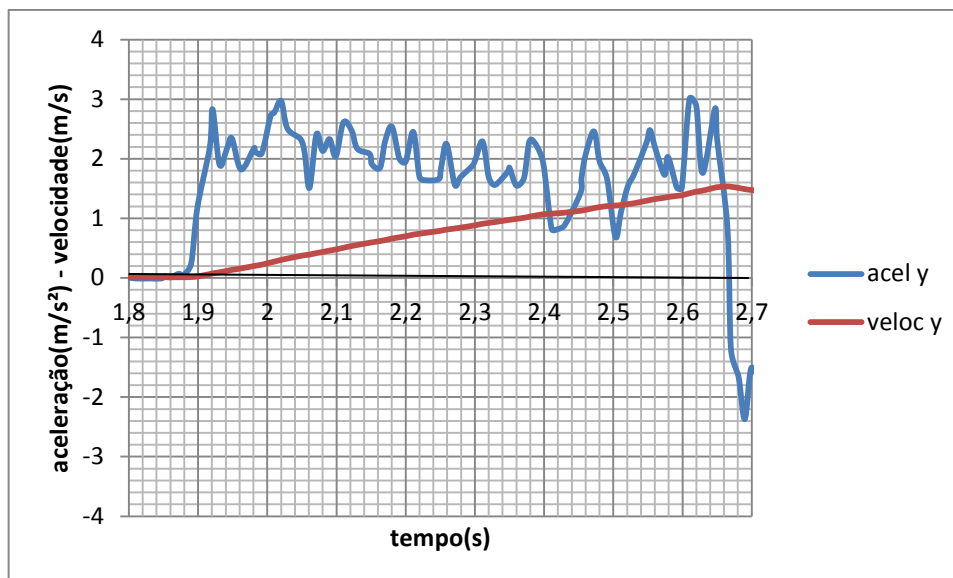


Figura 12.3: Gráfico comparativo da aceleração e velocidade adquiridas pela plataforma no experimento representado na figura 12.1.

A velocidade é determinada usando a relação.

$$v_i = v_{i-1} + a_i(t_i - t_{i-1}) \quad (12.3)$$

Com o valor estabelecido da aceleração e o intervalo de tempo determinado de 0,8 s, a velocidade máxima é de 1,6 m/s, que é um valor bem próximo do representado graficamente.

Sugestões de atividades

A disponibilidade do material instrucional é uma ferramenta a mais que o professor pode dispor no andar da interpretação e determinação do assunto ao qual esta inserida junto com os alunos. A partir de determinado ponto abre-se a possibilidade de discussões ou questionamentos sobre determinado item abordado.

Através do conteúdo apresentado, alguns questionamentos podem surgir, como:

- a) No plano inclinado, aumentando a massa da plataforma, o que acontece com a aceleração?
- b) Em um movimento circular uniforme, a velocidade angular na representação gráfica, pode se apresentar com um valor positivo ou negativo, isso depende de que?

c) Em um movimento de queda livre, colocando um sobrepeso no smartphone, a velocidade final atingida: aumenta, diminui ou permanece a mesma?

As atividades aqui sugeridas tanto podem ser desenvolvidas utilizando-se uma metodologia tradicional, como também uma metodologia investigativa.

