



## **Licenciatura em Física**

**Luís Carlos Verza Amarante**

**Utilizando um microcontrolador na experimentação de Física:  
Montando um plano inclinado.**

Birigui-SP

2016

**Luís Carlos Verza Amarante**

**Utilizando um microcontrolador na experimentação de Física:  
Montando um plano inclinado.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Câmpus Birigui, como requisito para obtenção do grau de Licenciado em Física.

**Orientador: Luiz Fernando da Costa  
Zonetti**

**Co-orientador: Marcos Roberto Ruybal  
Bica**

Birigui-SP

2016

Amarante, Luís Carlos Verza.

Utilizando um microcontrolador na experimentação de Física: Montando um plano inclinado. / Luís Carlos Verza Amarante. – Birigui, 2016. 50f.

Trabalho de conclusão de curso (Licenciatura em Física) – Instituto Federal de São Paulo, Campus Birigui.

Orientador: Luiz Fernando da Costa Zonetti.

1. Aceleração Gravitacional. 2. Plano Inclinado. 3. Microcontroladores.  
4. Experimentação na Física. I. Luiz Fernando da Costa Zonetti. II.  
Marcos Roberto Ruybal Bica. III Título.

**Luís Carlos Verza Amarante**

**Utilizando um microcontrolador na experimentação de Física: Montando um plano inclinado.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Câmpus Birigui, como requisito para obtenção do grau de Licenciado em Física.

Comissão examinadora

---

Prof<sup>o</sup> Me. Luiz Fernando da Costa Zonetti- IFSP

---

Prof<sup>o</sup> Esp. Marcos Roberto Ruybal Bica - IFSP

---

Prof<sup>o</sup> Me Donizete Aparecido Buscatti Junior - IFSP

---

Prof<sup>o</sup> Me João da Mata Santos Filho - IFSP

Birigui, 14 de Dezembro de 2016.

Dedico este trabalho a todos que direta ou indiretamente contribuíram para minha formação pessoal e profissional.

## **Agradecimentos;**

Agradeço a Deus, pelo Dom da vida, por permitir chegar até aqui superando todas as barreiras impostas.

Agradeço a possibilidade de elaborar este trabalho a meus pais Silvana Verza de Amarante e Siuval Garcia de Amarante por todo o apoio nos momentos difíceis. Aos meus irmãos Bruno, Mirian e Cíntia. A família de maneira geral pelo suporte. A todos os envolvidos, direta ou indiretamente, professores, amigos e colegas, alunos, que contribuíram para a construção da minha formação profissional.

Ao professor Luiz Fernando da Costa Zonetti pela orientação e paciência durante minha graduação.

Ao professor Marcos Roberto Ruybal Bica pela co-orientação e dedicação a este trabalho.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo que me acolheu e investiu no início de minha carreira durante a graduação em física.

A turma 01 de licenciatura em física 131-N e a turma 131-N licenciatura em Matemática, por participarmos juntos dos momentos difíceis, fáceis e indefinidos.

Ao departamento de Física e todo o corpo docente por contribuir e construir os primeiros passos da minha formação.

Aos técnicos de Laboratório do IFSP – Campus Birigui, Anderson, Artur e Edilson e à biblioteca do Câmpus.

Às professoras Zionice Garbelini Martos Rodrigues e Aline Graciele Mendonça, representando todos os outros professores de outras áreas do câmpus que de alguma maneira acrescentaram conhecimento na formação e reconhecimento pelo trabalho.

Ao pessoal do PIBID, do Cursinho Popular Hannah Arendt e da escola Prof<sup>a</sup> E.E. Regina Valarini Vieira, por contribuírem para a minha formação enquanto docente.

A todo pessoal administrativo do campus.

Eu não teria chegado onde cheguei se não fosse com a ajuda de todos vocês. Obrigado.

"Há um ditado chinês que diz que, se dois homens vêm andando por uma estrada, cada um carregando um pão, ao se encontrarem, eles trocam os pães; cada um vai embora com um. Porém, se dois homens vêm andando por uma estrada, cada um carregando uma ideia, ao se encontrarem, trocam as ideias; cada um vai embora com duas.

Quem sabe, é esse mesmo o sentido do nosso fazer: repartir ideias, para todos terem pão..."

(Mario Sérgio Cortella)

## RESUMO

De todas as forças do universo, a gravidade é aquela que se estuda há mais tempo e, ironicamente, a menos conhecida. Existem vários métodos de se encontrar o valor da constante gravitacional, tanto teóricos como experimentais. O método experimental é fundamental para qualquer comprovação teórica e demonstração de um determinado fenômeno que ocorre em nosso meio. Conhecendo a importância da experimentação, esse trabalho irá apresentar, pela perspectiva da Física, o processo de construção e a análise dos dados coletados de um plano inclinado utilizando um microcontrolador. Uma máquina simples é o conjunto de peças que operam juntas para executar uma determinada tarefa. Normalmente estas máquinas controlam a intensidade de uma força aplicada, alterando o sentido da força ou transformando um tipo de movimento em outro. Um plano inclinado é considerado uma máquina simples, civilizações primitivas já utilizavam superfícies inclinadas para subir encostas e transportar cargas em desníveis. No plano inclinado em estudo foi instalado sensores que são controlados por um microcontrolador, que tem a função de registrar em um computador os instantes de queda de uma bolinha de aço para diferentes ângulos, a fim de determinar a aceleração da gravidade e depois serão comparados com o valor da gravidade encontrado na literatura. Os erros do experimento para o cálculo da aceleração da gravidade nas posições finais variaram de 0,184 à 5,7%, estes resultados indicam que apesar de simples a montagem experimental, revelou resultados extremamente satisfatórios pelo baixo percentual de erro nas medidas obtidas.

**Palavras-chave:** Aceleração gravitacional; Plano inclinado; Microcontroladores; Experimentação na física;

## ABSTRACT

Of all the forces of the universe, gravity is the one studied the longest and, ironically, the least known. There are several methods of finding the gravitational constant value, both theoretical and experimental. The experimental method is fundamental to any theoretical proof and demonstration of a certain phenomenon that occurs in our environment. Knowing the importance of experimentation, this work will present, from the perspective of physics, the process of construction and analysis of the data collected from an inclined plane using a microcontroller. Simple machines are the set of parts that operate together to perform a certain task. Usually these machines control the intensity of an applied force, changing the direction of force or transforming one type of movement into another. An inclined plane is considered a simple machine, primitive civilizations already used inclined surfaces to climb slopes and carry loads in slopes. In the inclined plane under study was installed sensors that are controlled by a microcontroller, which has the function of registering in a computer the moments of fall of a steel ball for different angles, in order to determine the acceleration of gravity and then will be compared with the value of gravity found in the literature. The experimental errors for the calculation of the acceleration of gravity in the final positions varied from 0,18 to 5,7%, these results indicate that, although simple the experimental set-up, it revealed extremely satisfactory results due to the low percentage of error in the measurements obtained.

**Keywords:** Gravitational acceleration; Inclined plane ; Microcontrollers; Experimentation in physics;

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 01 – Princípio da Ação e Reação.....	18
FIGURA 02 – Deformação do espaço por um corpo massivo.....	20
FIGURA 03 - Princípio de funcionamento das Alavancas.....	22
FIGURA 04 – Representação da Polia.....	23
FIGURA 05 – Representação da roda.....	24
FIGURA 06 – Representação das forças atuantes sob um bloco em um plano inclinado. ....	25
FIGURA 07 – Representação do Kit educacional.....	29
FIGURA 08 – Esquema da montagem dos sensores.....	30
FIGURA 09 – Organização da ligação dos sensores no microcontrolador.....	30
FIGURA 10 – Representação do Experimento.....	33
FIGURA 11 – Gráfico da posição em função do tempo para 30°.....	39
FIGURA 12 – Gráfico da posição em função do tempo para 45°.....	39
FIGURA 13 – Gráfico da posição em função do tempo para 60°.....	40
FIGURA 14 – Gráfico da posição em função do tempo para 90°.....	40

## LISTA DE TABELAS

TABELA 01 – Posição dos sensores em relação ao ponto de lançamento .....	34
TABELA 02 – Tempo coletado em cada sensor com ângulo de 30° .....	34
TABELA 03 – Médias Aritméticas de cada tempo coletado com ângulo de 30° .....	35
TABELA 04 – Tempo coletado em cada sensor com ângulo de 45° .....	35
TABELA 05 – Médias Aritméticas de cada tempo coletado com ângulo de 45° .....	35
TABELA 06 – Tempo coletado em cada sensor com ângulo de 60° .....	36
TABELA 07 – Médias Aritméticas de cada tempo coletado com ângulo de 60° .....	36
TABELA 08 – Tempo coletado em cada sensor com ângulo de 90° .....	37
TABELA 09 – Médias Aritméticas de cada tempo coletado com ângulo de 90° .....	37
TABELA 10 – Aceleração da bolinha nos sensores para quatro ângulos .....	38
TABELA 11 – Aceleração gravitacional da bolinha nos sensores para quatro ângulos.....	41
TABELA 12 – Erro do cálculo experimental da gravidade para quatro ângulos .....	42

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>26</b>
<b>CAPÍTULO 1: HISTÓRIA DA GRAVIDADE .....</b>	<b>15</b>
<i>1.1 A Gravidade .....</i>	<i>15</i>
<i>1.2 Descobertas e redescobertas sobre a gravidade: Aristóteles, Copérnico, Galileu..</i>	<i>15</i>
<i>1.3 Newton e a Lei da Gravitação Universal.....</i>	<i>16</i>
<i>1.4 Einstein e a Relatividade Geral .....</i>	<i>19</i>
<b>CAPÍTULO 2: MÁQUINAS SIMPLES .....</b>	<b>21</b>
<i>2.1 O que são máquinas .....</i>	<i>21</i>
<i>2.2 Alavanca.....</i>	<i>22</i>
<i>2.3 Polia .....</i>	<i>22</i>
<i>2.4 Roda ou Torno .....</i>	<i>23</i>
<i>2.5 Plano Inclinado .....</i>	<i>24</i>
<b>CAPÍTULO 3: MICROCONTROLADORES.....</b>	<b>27</b>
<i>3.1 O que são Microcontroladores.....</i>	<i>27</i>
<i>3.2 Classificação de Microcontroladores.....</i>	<i>27</i>
<i>3.3 Kit Educacional.....</i>	<i>28</i>
<i>3.4 Sensores .....</i>	<i>29</i>
<b>CAPÍTULO 4: DESENVOLVIMENTO.....</b>	<b>32</b>
<i>4.1 Materiais e Métodos .....</i>	<i>32</i>
<i>4.2 Coleta de dados .....</i>	<i>34</i>
<i>4.3 Erro .....</i>	<i>37</i>
<i>4.4 Análise dos Dados.....</i>	<i>38</i>
<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>43</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>44</b>
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>46</b>

## INTRODUÇÃO

Partindo de uma hipótese, a experimentação é considerada um método científico que se baseia na classificação e observação de fenômenos em condições controladas, utilizada para obter respostas e sanar a curiosidade humana. Aristóteles, 384-322 a.C., que era discípulo de Platão, se embasava nas coisas que podia observar naturalmente, na experiência que o ser humano estava suscetível e assim postulava seus princípios sobre o modo com que a natureza se comportava, buscando padrões. Contudo, ele nos trouxe um conceito importante, a descrição de movimentos, acreditava que o movimento é um processo de mudança de um corpo que passa de um estado que se encontra para outro. Este conhecimento mais tarde foi descrito por Galileu e Descartes como “os estados inerciais” (HEWITT, 2011 p. 12-13).

No início do século XVII, uma nova perspectiva sobre o conhecimento científico foi dando espaço à ciência que começava a incluir uma variedade maior de pesquisadores de todas as classes sociais e gêneros. Em meados dos anos de 1615 a 1670, grandes nomes da ciência como Kepler, Galileu, Newton e Leibniz, dentre outros, demonstraram cálculos e métodos experimentais que desenvolveram a ciência que conhecemos hoje, depois de muita controvérsia e experimentação (DOES, 2008).

O método experimental é fundamental para qualquer comprovação teórica e demonstração de um determinado fenômeno que ocorre em nosso meio (PIRES, 2011). Conhecendo a importância da experimentação, esse trabalho irá apresentar, pela perspectiva da Física, o processo de construção e a análise dos dados coletados de um plano inclinado utilizando um microcontrolador.

Utilizando sensores de movimento para medir o tempo de queda de uma bolinha de aço, afim de calcular, experimentalmente, o valor da aceleração gravitacional para diferentes ângulos. Todo o sistema é monitorado por um microcontrolador PIC.

Ao final, a análise dos dados coletados nos diferentes ângulos, será comparada aos valores experimentais com valores teóricos, calculando assim, os erros de medida e averiguando a eficiência do aparato montado.

## **CAPÍTULO 1: HISTÓRIA DA GRAVIDADE**

### **1.1 A GRAVIDADE**

De todas as forças do universo, a gravidade é aquela que se estuda há mais tempo e, ironicamente, a menos conhecida (DOES, 2008). Esta força governa o universo agindo sobre tudo que possui massa e é utilizada para transformar diferentes tipos de energia em atividades diárias, como exemplo poderíamos citar a produção de energia elétrica em usinas hidrelétricas, em que uma barragem armazena água em um reservatório e quando liberada direcionada à uma turbina, o peso da água (consequente da aceleração gravitacional) move as hélices da turbina transformando energia potencial gravitacional em energia mecânica, que enfim é transformada em elétrica.

### **1.2 DESCOBERTAS E REDESCOBERTAS DA GRAVIDADE: ARISTÓTELES, COPÉRNICO, GALILEU**

Uma das primeiras definições de que havia uma força que trazia as coisas para baixo foi proposta por Aristóteles. Ele acreditava que nosso planeta era o centro do universo, o lugar onde cada objeto tem seu lugar privilegiado, ou seja, se uma pedra cai é porque o lugar dela é no chão, se o fogo sobe é porque o lugar dele é no céu, e tudo de diferente que acontecia fora da terra possuía suas leis próprias diferenciando as leis da terra e as leis para os céus [do que é divino].

Aristóteles, por reflexão, percebeu que alguns corpos na terra são leves enquanto que outros são pesados e constatou que isso era uma propriedade que dependia da composição dos elementos e suas proporções. Para ele, os objetos na terra eram feitos dos quatro elementos fundamentais: do ar, da água, do fogo e da terra.

A Terra sendo naturalmente pesada possuía um movimento natural descendente, o fogo por outro lado por ser leve possuía um movimento natural ascendente. Sendo assim os objetos eram leves ou pesados

dependendo da proporção de matéria pesada ou leve de que era constituído. E seu movimento seria dependente dessa proporção (ROSA, 2012).

Essas afirmações a respeito do movimento constituíram os primeiros pensamentos científicos relatados, apesar de não serem fatos confirmados, suas ideologias foram apoiadas pela igreja por mais de 2.000 anos, apesar de muitos outros tentaram mudar a perspectiva e crença científica (HEWITT, 2011, p. 19-20). Posteriormente, outras teorias apareceram, contrariando tais pensamentos, como o heliocentrismo proposto pelo astrônomo polonês Nicolau Copérnico, de 1473 a 1543, o enfoque então mudou e tornou-se necessária a revisão das leis sobre a queda dos corpos.

Seguindo essa mesma linha de pensamento, Galileu Galilei, grande cientista que viveu nos séculos XVI e XVII. Essa descoberta sobre a queda de corpos com massas diferentes, observada em um experimento onde deixava duas pedras com diferentes massas caírem de uma mesma altura e percebia que ambas se deslocavam com a mesma velocidade e atingiam o solo juntas. Ele concluiu que todos os corpos caem com a mesma velocidade independente de sua massa, porém ele não sabia explicar a natureza este fenômeno (PIRES, 2011).

Uma tentativa para explicar o movimento dos corpos, Galileu supôs que existia uma força que atraía os corpos para baixo, contrariando assim as concepções de Aristóteles e embasando futuras descobertas.

Mais tarde, novas observações e teorias levaram à lei da gravitação universal formulada por Isaac Newton.

### **1.3 NEWTON E A LEI DA GRAVITAÇÃO UNIVERSAL**

Na obra, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, Isaac Newton, depois de muitos estudos e experimentações, apresentou uma de suas maiores descobertas, a equação da gravitação universal, além de muitos outros trabalhos altamente importantes na Física, que são utilizados nos dias atuais.

A atração gravitacional da Terra confere peso aos objetos e faz com que caiam ao chão quando são soltos, essa atração é mútua, ou seja a Terra também é atraída pelo objeto (NEWTON, 2008).

A gravidade é ainda responsável por manter a Terra e os demais planetas e satélites em suas respectivas órbitas, também pela formação das marés, pela convecção natural e por aquecer o interior de estrelas e planetas em formação, aumentando a pressão interna através da agitação de seus átomos, além de vários outros fenômenos conhecidos e misteriosos na Terra e no universo (DOES, 2008).

A clássica lei da gravitação universal de Newton postula que a força da gravidade é diretamente proporcional às massas dos corpos em interação e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles ou seja, relaciona força com a massa (NEWTON, 2008).

A equação estabelecida por Newton é:

$$F = \frac{G \cdot M \cdot m}{r^2} \quad (1)$$

Onde:

$F$  = força de atração entre os corpos (N);

$M$  = massa do corpo 1 (Kg);

$m$  = massa do corpo 2 (Kg);

$r$  = vetor posição que representa a distância entre os dois corpos (m);

$G$  = constante universal da gravitação (cujo valor é de  $6,674287 \times 10^{-11}$  N.m<sup>2</sup>/Kg<sup>2</sup>);

Além da lei da gravitação universal, Isaac Newton também postulou três leis fundamentais que descrevem o movimento dos corpos extensos.

A primeira lei de Newton, conhecida como a lei da inércia, diz que se nenhuma força atua sobre um corpo ou a resultante das forças é nula, sua velocidade não pode mudar, neste caso o corpo não apresenta aceleração.

A sua segunda lei diz respeito da força resultante que sob o corpo, sendo igual ao produto de massa do corpo pela a aceleração adquirida.

[...] permite prever o movimento que um corpo vai descrever, é conhecida também como a lei fundamental da dinâmica. De fato, se conhecermos a posição inicial e a velocidade inicial de um corpo, podemos prever a trajetória que ele descreverá, assim como a velocidade em cada instante desde que conhecemos as forças que atuam sobre ele (PEF, 1984).

A equação que descreve a segunda lei de Newton é escrita como:

$$F_R = m \cdot a \quad (2)$$

Em que:

$F_R$  é a Força resultante (N);

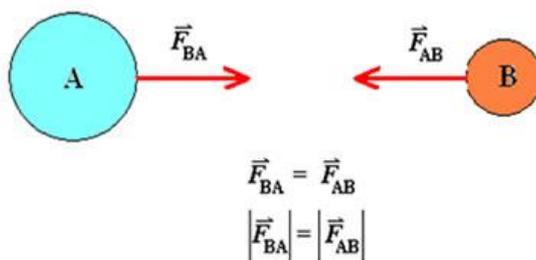
$m$  é a massa do corpo (Kg);

$a$  é a aceleração com que o corpo está submetido a  $F_R$  ( $m/s^2$ );

Por fim a terceira lei de Newton, também conhecida por Ação e Reação, define que quando dois corpos interagem, as forças que cada corpo exerce sobre o outro são iguais em módulo, direção, têm sentidos opostos e essas forças são de mesma natureza (HALLIDAY, 1994, p. 91 – 110).

Na figura 01 mostra que se um corpo A exerce sobre um corpo B uma força  $F_{AB}$ , então o corpo B também exerce sobre o corpo A uma força  $F_{BA}$ .

**Figura 01 – Princípio da Ação e Reação**



Fonte: SILVA, 2016 – Terceira Lei de Newton.

Para o cálculo da aceleração com que os corpos são atraídos, consideramos um corpo próximo a superfície da Terra no qual atua somente a força gravitacional a equação para a força resultante é descrita como:

$$F_{\text{res}} = \frac{G \cdot M_T \cdot m}{r^2} \quad (3)$$

Onde alteramos  $M$  por  $M_T$  que é a massa da Terra e  $r$  é o raio da Terra.

Considerando que a constante Universal da gravitação, a massa da Terra e o raio da terra como constantes podemos descrever que:

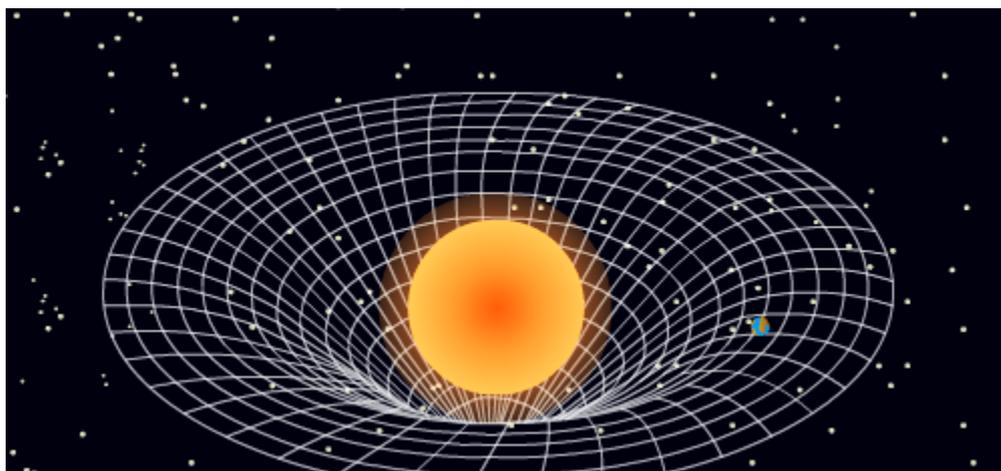
$$g = \frac{G \cdot M_T}{r^2} \quad (4)$$

Observa-se que o valor de  $g$ , chamado de aceleração gravitacional, pode assumir diferentes intensidades para cada ponto na superfície terrestre, pelo fato da Terra não ser uma esfera perfeita. Isso porque quanto mais alto estiver um corpo em relação ao centro de massa da Terra, menor o valor de  $g$ . Newton calculou o valor da aceleração gravitacional a um raio médio do planeta, visto na literatura como, de aproximadamente  $9,81 \text{ m/s}^2$ .

#### 1.4 EINSTEIN E A RELATIVIDADE GERAL

O grande passo seguinte só foi dado quase três séculos depois por Albert Einstein, de 1879 a 1955, ele explica por que a gravidade realizava tais fenômenos descritos por Newton, atribuindo e descrevendo a curvatura do espaço devido à interação gravitacional de grandes massas, representado na figura 02. Dizia em sua Teoria Geral da Relatividade, de 1916, que planetas e estrelas curvam o espaço à sua volta pelo simples fato de estarem ali presentes – por seguirem a curvatura do espaço é que corpos celestes giram, gravitam em torno uns dos outros, como a Terra ao redor do Sol e a Lua em volta da Terra (HALLIDAY, 1994, p. 35 - 48).

**FIGURA 02** – Deformação do espaço por um corpo massivo.



Fonte: Fenômenos não identificados, 2016.

Se um corpo massivo gera a gravidade o que acontece se ocorre um evento violento, como a explosão de uma estrela massiva que chegou ao fim da vida – uma supernova, ou a fusão de duas estrelas de nêutrons, astros muito densos, ou de dois buracos negros com seu poder esmagador. Acontecimentos dessa magnitude provocam poderosas acelerações da matéria que interferem no campo gravitacional em volta. Elas são como uma pedra jogada na água que formam ondulações, deformando o espaço, (DOES, 2008).

Supondo essa ideia, seria possível detectar essas ondas no momento em que atingem a Terra após terem viajado até nós à velocidade da luz.

## CAPÍTULO 2: MÁQUINAS SIMPLES

### 2.1 O QUE SÃO MÁQUINAS

O termo máquina define, geralmente, um conjunto de peças que operam juntas para executar trabalho. Normalmente estes dispositivos controlam a intensidade de uma força aplicada, alterando o sentido da força ou transformando um tipo de movimento ou de energia em outro (CHIU, 2010).

Os primeiros relatos sobre máquinas simples foram feitos pelo filósofo grego Arquimedes, no século III a.C., que utilizou a alavanca, a polia e o parafuso a fim de melhorar a vida das pessoas da época, transportando desde pedras até a água, esses instrumentos ficaram conhecidos como máquinas de Arquimedes. Seus princípios físicos são simples e graças a eles, hoje possuímos máquinas mais evoluídas e complexas.

Tempo depois, Heron de Alexandria, datado de 10 a 75 d.C., em um de seus trabalhos, lista cinco mecanismos que podem colocar um corpo em movimento transformando a força nele aplicada, são eles: a alavanca, o molinete, a polia, a cunha e o parafuso, ele descreve sua fabricação e usos, porém os conceitos físicos ainda não eram conhecidos (USHER, 1998).

Assim, chegamos as quatro principais máquinas simples que conhecemos hoje, que foram sendo construídas e relatadas ao decorrer da história. Existem muitos outros instrumentos que se enquadram como máquinas simples, mas vamos tratar neste trabalho, de quatro principais:

- Alavanca;
- Polia;
- Roldana ou torno;
- Plano inclinado;

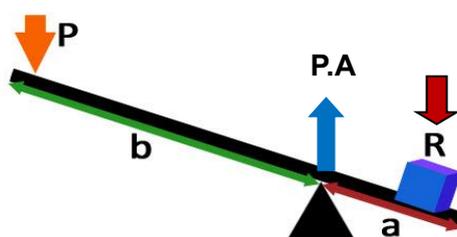
A seguir relatamos as principais características desses quatro tipos de máquinas simples.

## 2.2 ALAVANCA

As alavancas são utilizadas para multiplicar a força aplicada sobre um corpo, possibilitando que um pequeno esforço mova grandes objetos. Ela é constituída por uma barra rígida que pode girar sobre um ponto de apoio.

O princípio de funcionamento das alavancas foi definido por Arquimedes, originando na literatura uma famosa frase que diz: “Deem-me uma alavanca e um ponto de apoio e eu deslocarei o mundo.” A figura 03 representa o funcionamento das alavancas (TEIXEIRA, 2016).

**FIGURA 03-** Princípio de funcionamento das Alavancas.



Fonte: CARVALHO, 2013.

Desta forma como foi exposto, temos que *P.A.* (Ponto de apoio) é fixo e a alavanca gira em torno dele, a força *R* é chamada de Força Resistente que se origina do peso do objeto que se pretende movimentar. *P* é a Força potente, ela é aplicada na alavanca para mover o objetivo. As distâncias, em relação a ponto de apoio às forças resistente e potente, *a* e *b* respectivamente, também são conhecidas como braços.

A força aplicada em pontos de extremidade da alavanca é proporcional à relação do comprimento do braço de alavanca obedecendo a seguinte relação, o produto da força potente (*P*) pelo braço potente (*b*) é igual ao produto do peso (*R*) do objeto pelo braço do objeto (*a*).

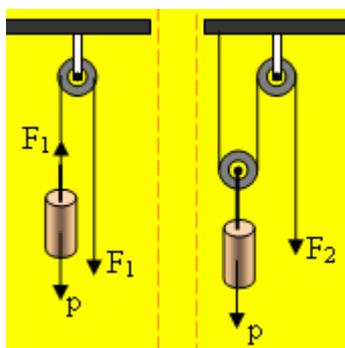
## 2.3 POLIA

A Polia é uma peça em formato circular que gira em torno de um eixo, ajudando a transferir energia e força cinética para movimentar determinados objetos através de cordas ou correntes.

Também conhecida como roldana, a polia é uma peça mecânica bastante utilizada para dar sustento e força a uma estrutura, da qual o trabalho é feito por meio da transmissão de movimento de uma correia. As polias são úteis para a execução de alguns transportes, principalmente de objetos extremamente pesados (HEWITT, 2005). A representação das forças em uma polia está esquematizada na figura 04.

As polias podem ser associadas de duas formas: fixas e móveis. Uma das características da polia fixa é que a força aplicada só muda o sentido, enquanto que na polia móvel a intensidade da força cai pela metade em cada uma, podendo ser associado  $n$  polias em um mesmo sistema.

**FIGURA 04**– Representação da Polia

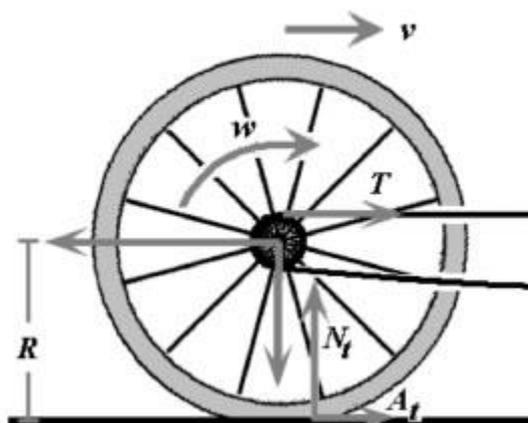


Fonte: FARIA, 2010.

Em que  $P$  é a força exercida pela carga a ser movida e  $F_1$  é a força externa exercida para mover a carga na polia fixa. Na polia móvel temos  $F_2$  que é metade a intensidade de  $F_1$  para um mesmo objeto.

## 2.4 RODA OU TORNO

A roda possui grande aplicação no transporte, caracterizada pelo movimento rotativo no seu interior, representado na figura 05. A roda amplifica a força aplicada nas bordas e a transmite para o eixo de rotação, seguindo a mesma ideia o contrário também é verdade, a roda transmite de maneira reduzida para a borda qualquer força aplicada no seu eixo de rotação (ANTHONY, 2007, p.67).

**FIGURA 05**– Representação da roda.

Fonte: SILVEIRA, 2011

Onde:

$v$  a velocidade escalar (m/s);

$w$  a velocidade angular (rad/s);

$T$  a força no eixo (N);

$R$  o raio (m);

$A_f$  a força de atrito (N);

$N_f$  a força normal no instante em que a roda toca o solo (N).

## 2.5 PLANO INCLINADO

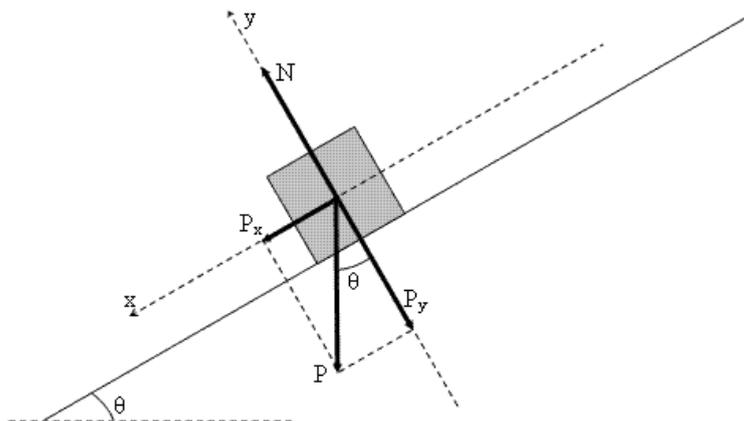
Possivelmente o plano inclinado é a máquina simples mais antiga do mundo. As civilizações primitivas já utilizavam superfícies inclinadas para subir encostas e transportar cargas em desníveis. Acredita-se que as construções das pirâmides do Egito foram facilitadas pelo plano inclinado (MARICONDA, 2008).

O plano inclinado nada mais é do que um plano que se encontra em um desnível, ou seja, o seu ponto de início está a uma altura diferente em relação ao seu ponto final. Fisicamente ele é muito importante, pois para mover um corpo qualquer em sua superfície é necessária uma força de módulo bem menor do que se o corpo estivesse em um plano totalmente na horizontal.

A figura 06 representa um plano inclinado desprezando as forças dissipativas, nesta figura tem-se o bloco de massa  $M$ , e as forças que nele atuam, que são: a força peso ( $P$ ),

direcionada para baixo em virtude da atração da Terra; e a força normal, exercida pelo plano inclinado, perpendicular à superfície de contato.

**FIGURA 06** - Representação das forças atuantes sob um bloco em um plano inclinado.



Fonte: MARICONDA, 2008

Pelo fato das forças não possuírem a mesma direção e nem sentido, elas não se equilibram sendo assim, admitem uma resultante com aceleração diferente de zero e constante (HALLIDAY, 1994).

Para determinar o valor da aceleração desse bloco no plano inclinado é necessário calcular o valor da força resultante exercida no bloco. Para isso, devemos decompor o peso  $P$  em dois componentes: um componente perpendicular com a superfície do plano inclinado e outro paralelo.

A força normal ( $N$ ) se equilibra com a componente perpendicular com a superfície do plano inclinado da força peso. As forças  $P_x$  e  $P_y$  são componentes da força peso.

Assim, para encontrar o valor da aceleração, serão utilizadas as relações trigonométricas do triângulo retângulo para determinar o valor das componentes ( $P_x$  e  $P_y$ ), equação 5:

$$\text{Sen}\theta = \frac{P_x}{P} \rightarrow P_x = P \cdot \text{Sen}\theta \quad (5)$$

$$\text{Cos}\theta = \frac{P_y}{P} \rightarrow P_y = P \cdot \text{Cos}\theta$$

Agora, aplicando a segunda lei de Newton, equação 2, obtemos a força resultante que atua no bloco de massa  $M$ , nessa situação  $P_y$  cancela com a força normal, sobrando apenas  $P_x$  que faz com que o corpo entre em movimento, logo:

$$P_x = m \cdot a \quad (6)$$

Levando em conta a equação (5) e substituindo em (6) obtemos:

$$P \cdot \text{sen } \theta = m \cdot a \quad (7)$$

Onde a força peso é dado por:

$$P = m \cdot g \quad (8)$$

Em que:

$P$  é a Força Peso (N);

$m$  é a massa do corpo (Kg);

$g$  é a aceleração gravitacional ( $\text{m/s}^2$ );

Substituindo (8) em (7) temos

$$m \cdot g \cdot \text{sen } \theta = m \cdot a \quad (9)$$

Em virtude de ter massa em ambos os termos da equação, ela pode ser cancelada, portanto:

$$a = g \cdot \text{sen } \theta \quad (10)$$

Essa é a expressão que determina o módulo da aceleração adquirida por um objeto que desliza sem forças dissipativas em um plano inclinado de um ângulo  $\theta$  em relação à horizontal.

Assim, se o valor do ângulo e da aceleração de queda do objeto for conhecida é possível encontrar o módulo da aceleração gravitacional através da seguinte equação:

$$g = \frac{a}{\text{sen } \theta} \quad (11)$$

## CAPÍTULO 3: MICRONTROLADORES E SENSORES

### 3.1 OS MICRONTROLADORES

Microcontroladores podem ser caracterizados como componentes eletrônicos, onde milhares de transistores são organizados e funcionam como um sistema. Como exemplifica Bica 2016:

Estes componentes podem ser comparados à um pequeno computador, preparado para executar tarefas de formas sequencial, sem a necessidade de componentes externos, pois são dotados de dispositivos internos, dentre os quais podemos destacar, memória de programa e de trabalho, memória EEPROM, Contadores e Timers, Canais de comunicação serial síncronos e assíncronos, conversor analógico digital, comparadores, geradores de PWM entre outros (BICA, 2016).

Existem dois modelos distintos de arquitetura de microcontroladores, Harvard e Von Neumann, a principal diferença entre elas está na forma como os bytes se deslocam dentro de sua estrutura. Por serem componentes que trabalham de forma sequencial, os microcontroladores são dispositivos versáteis e amplamente empregados em eletrodomésticos modernos, automóveis, sistemas de automação residencial e comercial, alarmes, sistemas robotizados e equipamentos médicos.

### 3.2 CLASSIFICAÇÃO DOS MICRONTROLADORES

A classificação dos microcontroladores é feita pela quantidade de bits, que está diretamente ligada ao tamanho dos registradores de memória, existe o de 8bits,16bits ou32bits. Quanto maior a capacidade em bits, maior é a capacidade de execução de tarefas complexas. Para que os microcontroladores trabalhem sequencialmente é necessário que as tarefas sejam armazenadas em sua memória, na forma de um programa. Esse programa pode ser escrito na linguagem do microcontrolador chamada Assembly ou em linguagens universais tais como BASIC, C ou C++ (MIYADAIRA, 2009).

Diversos são os fabricantes de microcontroladores no mundo dentre os quais pode-se citar *Microchip*, *Atmel*, *NXP*, *FREESCALE*, *Texas Instrument*, *STMicrocontrollers*. Atualmente existem diversos modelos de plataforma de desenvolvimento, as mais

populares são o Arduino e o Pinguino. O Arduino é baseado nos microcontroladores AtmelAVR, e o Pinguino no microcontrolador PIC microchip, porém o desenvolvimento dos programas é realizado em plataforma específica (GUIMENEZ e DANTAS, 2015).

### 3.3 KIT EDUCACIONAL

Neste trabalho foi utilizado o Kit educacional, desenvolvido pelo professor Marcos Roberto Ruybal Bica, do IFSP – Campus Birigui, para controlar todo o sistema para a coleta do tempo de queda de uma bolinha em diferentes inclinações.

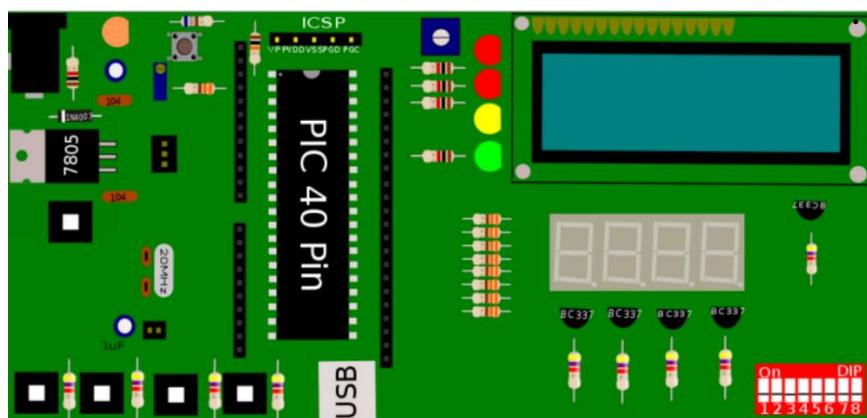
O Kit é composto por:

- Microcontrolador com encapsulamento DIP 40.
- Modelos 16F e 18F.
- Display LCD 16x2 com backlight.
- 4 Displays de 7 segmentos.
- 4 leds e 4 push buttons.
- Dip Switch para seleção de função que será utilizada.
- Entrada para gravação do Microcontrolador, por ICSP.
- Compatível com os gravadores da Microchip.

O Projeto do kit foi desenvolvido para receber os Microcontroladores da linha PIC16 e PIC18 com encapsulamento DIP 40, onde todos os pinos do microcontrolador estão disponíveis por terminais fêmea, para prototipagem em protoboard.

Na figura 07 mostra uma representação do Kit educacional desenvolvido pelo professor Bica.

**FIGURA 07**–Representação do Kit educacional.



Fonte: BICA, 2016

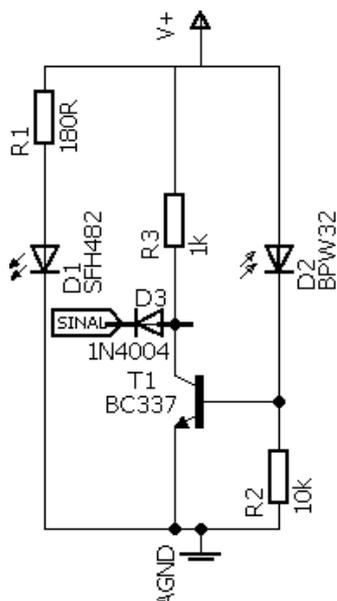
O programa feito para este trabalho é básico, sua função era de marcar o tempo quando o fluxo nos sensores fossem interrompidos pela passagem de algum material. No caso, quando a bolinha passa pelo primeiro sensor o timer é liberado e a passagem por cada sensor é armazenado o tempo naquele instante. Ao passar pelo ultimo o timer para e manda os dados para o computador através do canal de comunicação serial.

O programa foi escrito em linguagem C na plataforma de desenvolvimento MPLSBX IDE com o compilador XC8, e o microcontrolador utilizado foi o PIC 18 F4520, está apresentado no apêndice a1.

### 3.4 SENSORES

Os sensores foram construídos conforme esquema da Figura 08 com um LED (Diodo Emissos de Luz) de emissão de luz infravermelha e um foto diodo, que é sensibilizado por luz infravermelha, também nesse circuito foi adicionado um transistor, dessa forma quando a luz infravermelha está incidindo sobre o foto diodo, o transistor conduz o sinal para o lado o lado negativo do circuito e quando a luz é interrompida pela passagem da esfera entre o foto diodo e o LED, o Sinal fica com o nível de tensão mais alto.

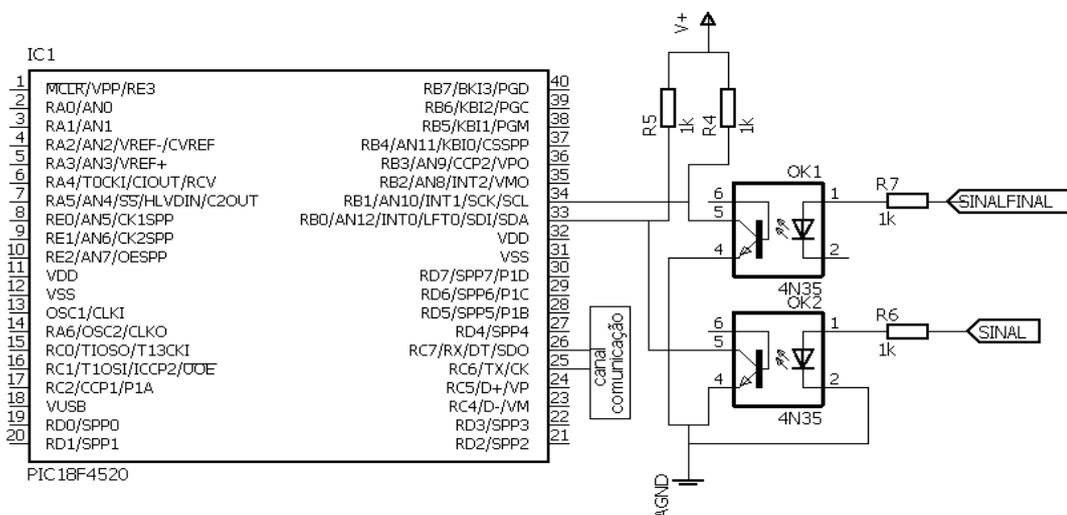
**FIGURA 8 - Esquema da montagem dos sensores**



Fonte: Imagem produzida pelo próprio autor.

Como são vários sensores ligados no mesmo ponto do microcontrolador, foi utilizado ainda um componente chamado fotoacoplador, para isolar os sensores evitando interferência entre eles. Esta ligação pode ser vista na Figura 09, onde pode ser observado que todos os sensores exceto o último devem ser ligados no ponto de nome “SINAL” o último sensor deve ser ligado ao ponto de nome “SINALFINAL”.

**FIGURA 09 – Organização da ligação dos sensores no microcontrolador**



Fonte: Imagem produzida pelo próprio autor.

A comunicação entre o microcontrolador e o computador, se dá pelo canal de comunicação serial, as mensagens já saem formatadas do microcontrolador, de modo que basta um programa de emulação de terminal, para receber as informações.

## CAPÍTULO 4: DESENVOLVIMENTO

### 4.1 MATERIAIS E MÉTODOS

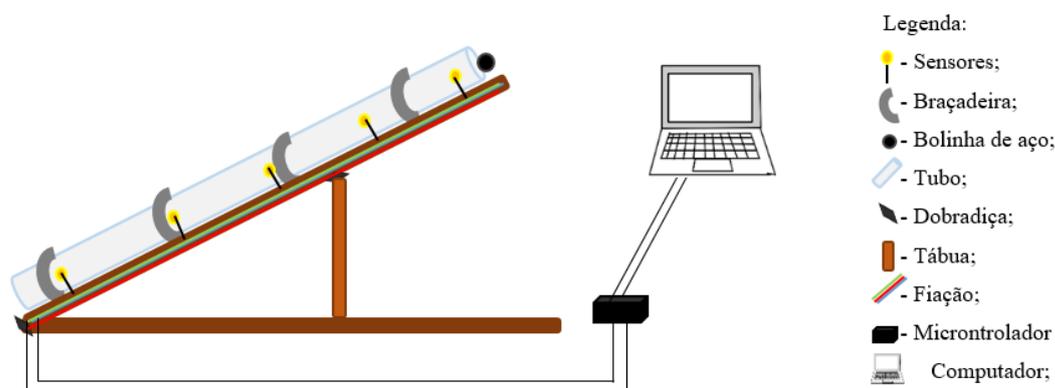
O experimento foi elaborado com materiais facilmente encontrados e disponíveis no mercado possibilitando sua reprodução e aperfeiçoamento. Os materiais utilizados foram:

- Microcontrolador
- Sensor emissor e receptor infravermelho;
- 1,3 Metros de Tubo transparente de 1 polegada;
- 3 Tábuas de 2 metros de comprimento;
- 4 Braçadeiras de alumínio;
- Transferidor;
- Bolinha de aço;
- Computador;
- 2 Dobradiças;
- Fios de ligação;

A representação da montagem do experimento está exemplificada na figura 08. Está ilustra a aplicação dos materiais utilizados assim como o sistema de funcionamento montado. A montagem foi básica, utilizando tábuas de madeira para a estrutura do experimento, uma dobradiça foi colocada para prender uma tábua na outra, de modo que fiquem livres para formar diferentes angulações entre elas.

Na tábua superior foi acomodado o tubo transparente. Ele foi escolhido, pois permite analisar visualmente o comportamento da bolinha. Para prender o tubo foram utilizadas braçadeiras comuns encontradas em lojas de materiais de construção.

**FIGURA 10**– Representação do Experimento



Fonte: Imagem produzida pelo próprio autor.

Cada sensor foi conectado um ao outro e todos estavam ligados ao microcontrolador, assim foi possível controlar individualmente cada um apenas com a programação. Neste caso, o programa escrito faz com que o cronômetro seja ligado no instante em que a bolinha passa pelo primeiro sensor e desligado quando passa pelo último, os instantes em que a bolinha passa pelos sensores intermediários também eram adquiridos no computador.

A barra marrom mais clara controla a angulação do plano inclinado. Como foi observado nas deduções anteriores e na equação 10, a massa de um corpo não influencia na aceleração de sua queda, existe apenas a dependência da aceleração gravitacional e de uma superfície plana elevada a uma altura  $h$ , que forma um ângulo  $\theta$  em relação ao plano horizontal. No experimento realizado em questão, foram utilizados os ângulos de  $30^\circ$ ;  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  e  $90^\circ$ .

Depois de encontradas a média do tempo de queda da bolinha e conhecendo a distância que ela percorreu, podemos utilizar a equação horária de movimento uniformemente variado para encontrar a aceleração.

$$x = x_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2 \quad (12)$$

Em que:

$x$  é a posição final da bolinha (m);

$x_0$  é a posição inicial da bolinha (m);

$v_0$  é a velocidade inicial de lançamento (m/s);

$t$  é o tempo (s);

Como a velocidade inicial e a posição inicial é igual a zero, os termos se cancelam e isolando a aceleração obtemos a seguinte relação:

$$a = \frac{2 \cdot x}{t^2} \quad (13)$$

## 4.2 COLETA DE DADOS

Na aquisição de dados, o experimento foi realizado quinze (15) vezes com cada angulação, e foi calculada a média aritmética em cada sensor (S) para garantir um resultado com o menor erro possível.

As posições dos sensores foram as mesmas para todas as angulações. Escolhidas de maneira aleatória, afim de verificar a influência das posições na aceleração da bolinha. Na tabela 1 estão os posicionamentos dos sensores em relação ao ponto de lançamento:

**TABELA 01: Posição dos sensores em relação ao ponto de lançamento**

	S. 1 (s)	S. 2 (s)	S. 3 (s)	S.4 (s)	S. 5 (s)	S. 6 (s)	S. 7 (s)
<b>Posição (m)</b>	0	0,1	0,3	0,6	0,7	0,9	1,1

Na tabela 02 representa os dados coletados para o ângulo de 30°.

**TABELA 02: Tempo coletado em cada sensor com ângulo de 30°**

<b>Ensaio</b>	S. 1 (s)	S. 2 (s)	S. 3 (s)	S.4 (s)	S. 5 (s)	S. 6 (s)	S. 7 (s)
<b>01</b>	0	0,15	0,31	0,47	0,52	0,6	0,68
<b>02</b>	0	0,16	0,32	0,48	0,53	0,62	0,69
<b>03</b>	0	0,16	0,32	0,49	0,53	0,62	0,69
<b>04</b>	0	0,16	0,32	0,49	0,53	0,61	0,69
<b>05</b>	0	0,17	0,33	0,5	0,54	0,63	0,7
<b>06</b>	0	0,17	0,33	0,49	0,54	0,62	0,69
<b>07</b>	0	0,17	0,33	0,49	0,54	0,62	0,7
<b>08</b>	0	0,16	0,32	0,48	0,53	0,61	0,69
<b>09</b>	0	0,16	0,32	0,49	0,53	0,62	0,7
<b>10</b>	0	0,16	0,33	0,49	0,53	0,62	0,69
<b>11</b>	0	0,17	0,33	0,5	0,54	0,63	0,71
<b>12</b>	0	0,16	0,32	0,48	0,52	0,61	0,68
<b>13</b>	0	0,16	0,32	0,48	0,53	0,61	0,68
<b>14</b>	0	0,16	0,32	0,48	0,53	0,61	0,69
<b>15</b>	0	0,15	0,31	0,48	0,52	0,6	0,67

Para que o erro do cálculo da aceleração da gravidade seja o menor possível foi calculado a média aritmética dos tempos em cada sensor, esquematizado na tabela 03 para uma angulação de 30°.

**TABELA 03: Médias Aritméticas de cada tempo coletado com ângulo de 30°**

	S. 1 (s)	S. 2 (s)	S. 3 (s)	S.4 (s)	S. 5 (s)	S.6 (s)	S. 7 (s)
<b>Média</b>	0	0,161	0,322	0,486	0,530	0,615	0,690

Os dados coletados para o ângulo de 45° estão representados na tabela 04.

**TABELA 04: Tempo coletado em cada sensor com ângulo de 45°**

<b>Ensaio</b>	S. 1 (s)	S. 2 (s)	S. 3 (s)	S.4 (s)	S. 5 (s)	S.6 (s)	S.7 (s)
<b>01</b>	0	0,15	0,28	0,41	0,45	0,51	0,57
<b>02</b>	0	0,14	0,27	0,4	0,43	0,5	0,56
<b>03</b>	0	0,14	0,27	0,4	0,43	0,5	0,56
<b>04</b>	0	0,14	0,27	0,41	0,44	0,52	0,59
<b>05</b>	0	0,14	0,28	0,41	0,44	0,51	0,57
<b>06</b>	0	0,14	0,27	0,4	0,44	0,5	0,56
<b>07</b>	0	0,14	0,27	0,4	0,43	0,5	0,56
<b>08</b>	0	0,13	0,26	0,39	0,42	0,51	0,56
<b>09</b>	0	0,13	0,26	0,39	0,42	0,49	0,55
<b>10</b>	0	0,13	0,26	0,39	0,42	0,49	0,55
<b>11</b>	0	0,13	0,27	0,4	0,43	0,5	0,56
<b>12</b>	0	0,14	0,27	0,4	0,44	0,5	0,56
<b>13</b>	0	0,14	0,27	0,4	0,44	0,51	0,56
<b>14</b>	0	0,14	0,27	0,41	0,44	0,51	0,57
<b>15</b>	0	0,13	0,26	0,39	0,43	0,49	0,55

A média dos dados coletados para a angulação de 45° estão representados na tabela 5.

**TABELA 05: Médias Aritméticas de cada tempo coletado com ângulo de 45°**

	S. 1 (s)	S. 2 (s)	S. 3 (s)	S.4 (s)	S. 5 (s)	S. 6 (s)	S. 7 (s)
<b>Média</b>	0	0,137	0,268	0,400	0,433	0,502	0,562

Na tabela 06 representa os dados coletados para o ângulo de 60°.

**TABELA 06: Tempo coletado em cada sensor com ângulo de 60°**

<b>Ensaio</b>	<b>S. 1 (s)</b>	<b>S. 2 (s)</b>	<b>S. 3 (s)</b>	<b>S.4 (s)</b>	<b>S. 5 (s)</b>	<b>S. 6 (s)</b>	<b>S.7 (s)</b>
<b>01</b>	0	0,13	0,25	0,37	0,40	0,45	0,51
<b>02</b>	0	0,12	0,23	0,35	0,38	0,44	0,49
<b>03</b>	0	0,12	0,23	0,34	0,38	0,43	0,48
<b>04</b>	0	0,12	0,24	0,36	0,39	0,44	0,50
<b>05</b>	0	0,12	0,23	0,35	0,38	0,44	0,49
<b>06</b>	0	0,12	0,23	0,35	0,38	0,43	0,49
<b>07</b>	0	0,12	0,23	0,35	0,38	0,44	0,49
<b>08</b>	0	0,12	0,24	0,35	0,39	0,44	0,50
<b>09</b>	0	0,12	0,23	0,35	0,38	0,44	0,49
<b>10</b>	0	0,13	0,24	0,36	0,39	0,44	0,50
<b>11</b>	0	0,12	0,23	0,35	0,38	0,44	0,49
<b>12</b>	0	0,12	0,24	0,35	0,38	0,44	0,50
<b>13</b>	0	0,12	0,23	0,35	0,38	0,44	0,49
<b>14</b>	0	0,13	0,24	0,36	0,39	0,45	0,50
<b>15</b>	0	0,14	0,26	0,38	0,41	0,46	0,52

O valor médio de cada sensor em 60° está calculado na tabela 7.

**TABELA 07: Médias Aritméticas de cada tempo coletado com ângulo de 60°**

	<b>S. 1 (s)</b>	<b>S. 2 (s)</b>	<b>S. 3 (s)</b>	<b>S.4 (s)</b>	<b>S. 5 (s)</b>	<b>S.6 (s)</b>	<b>S. 7 (s)</b>
<b>Média</b>	0	0,123	0,236	0,354	0,386	0,441	0,496

A tabela 08 representa os dados coletados para o ângulo de 90°.

**TABELA 08: Tempo coletado em cada sensor com ângulo de 90°**

Ensaio	S. 1 (s)	S. 2 (s)	S. 3 (s)	S.4 (s)	S. 5 (s)	S. 6 (s)	S. 7 (s)
01	0	0,09	0,20	0,34	0,38	0,45	0,51
02	0	0,10	0,21	0,33	0,38	0,42	0,47
03	0	0,10	0,21	0,31	0,36	0,40	0,46
04	0	0,09	0,21	0,31	0,34	0,40	0,46
05	0	0,10	0,21	0,33	0,34	0,42	0,48
06	0	0,10	0,22	0,33	0,46	0,41	0,46
07	0	0,10	0,20	0,34	0,37	0,43	0,49
08	0	0,11	0,21	0,32	0,35	0,41	0,47
09	0	0,10	0,20	0,30	0,33	0,38	0,44
10	0	0,10	0,20	0,31	0,34	0,40	0,46
11	0	0,10	0,20	0,30	0,33	0,38	0,44
12	0	0,10	0,20	0,34	0,38	0,44	0,51
13	0	0,11	0,21	0,35	0,38	0,44	0,50
14	0	0,11	0,22	0,32	0,35	0,40	0,46
15	0	0,12	0,23	0,35	0,38	0,44	0,50

A média aritmética do tempo em cada sensor em 90° está na tabela 09.

**TABELA 09: Médias Aritméticas de cada tempo coletado com ângulo de 90°**

	S. 1 (s)	S. 2 (s)	S. 3 (s)	S.4 (s)	S. 5 (s)	S. 6 (s)	S. 7 (s)
<b>Média</b>	0	0,102	0,208	0,325	0,364	0,414	0,474

### 4.3 ERRO

O estudo em questão foi trabalhado, com valores obtidos da gravidade (g) por meio do Erro (E), que pode ser calculada pela equação 14, onde os valores mais próximos de 0, estão mais coerentes com o valor dado na literatura.

$$E = \frac{g_{Teórico} - g_{Experimental}}{g_{Teórico}} \times 100\% \quad (14)$$

Onde

$g_{teórico}$  é o valor da aceleração gravitacional encontrado na literatura.

$g_{Experimental}$  é o valor da aceleração gravitacional calculado através do experimento.

#### 4.4 ANÁLISE DOS DADOS

Para determinar a aceleração do sensor S.2 para angulação de 30° foi utilizada a equação 13 e os dados da tabela 1 para a distância e da tabela 3 para o tempo, cujos valores são 0,1 m e 0,161 s:

$$a = \frac{2 \cdot 0,1}{0,161^2}$$

$$a = 7,683 \text{ m/s}^2$$

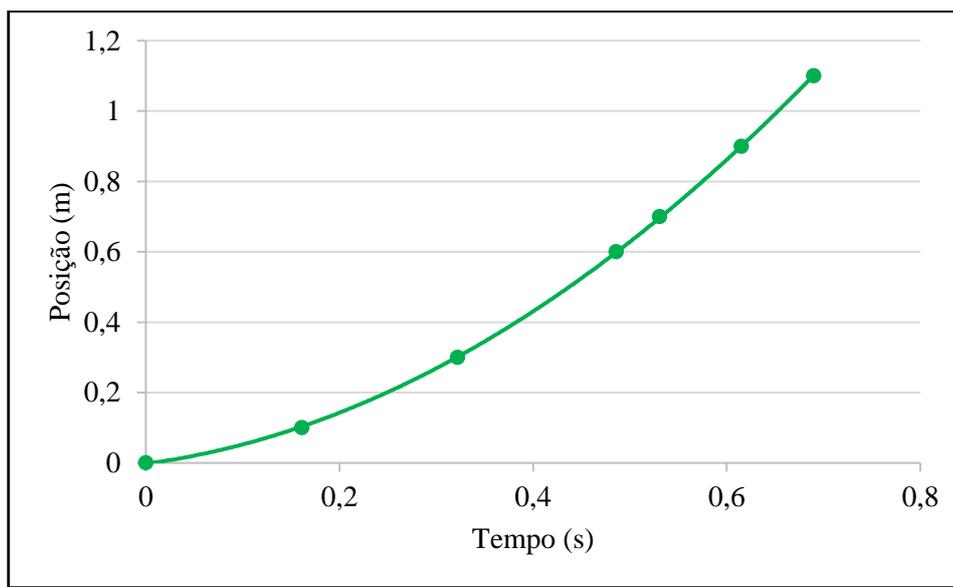
Esse procedimento foi feito no cálculo da aceleração para todos os sensores e em todas as angulações, cujos valores estão representados na tabela 10, observa-se que a aceleração diminui com o aumento da distância devido ao tempo de resposta de aquisição dos sensores, além disso observa-se que para distâncias cada vez maiores a aceleração tende a ficar constante.

**Tabela 10 – Aceleração da bolinha nos sensores para os quatro ângulos**

	Aceleração (m/s <sup>2</sup> ) em 30°	Aceleração (m/s <sup>2</sup> ) em 45°	Aceleração (m/s <sup>2</sup> ) em 60°	Aceleração (m/s <sup>2</sup> ) em 90°
S.1	-	-	-	-
S.2	7,683	10,604	13,148	19,223
S.3	5,786	8,312	10,712	13,779
S.4	5,080	7,500	9,539	11,337
S.5	4,971	7,455	9,396	10,527
S.6	4,753	7,123	9,241	10,468
S.7	4,620	6,965	8,942	9,791

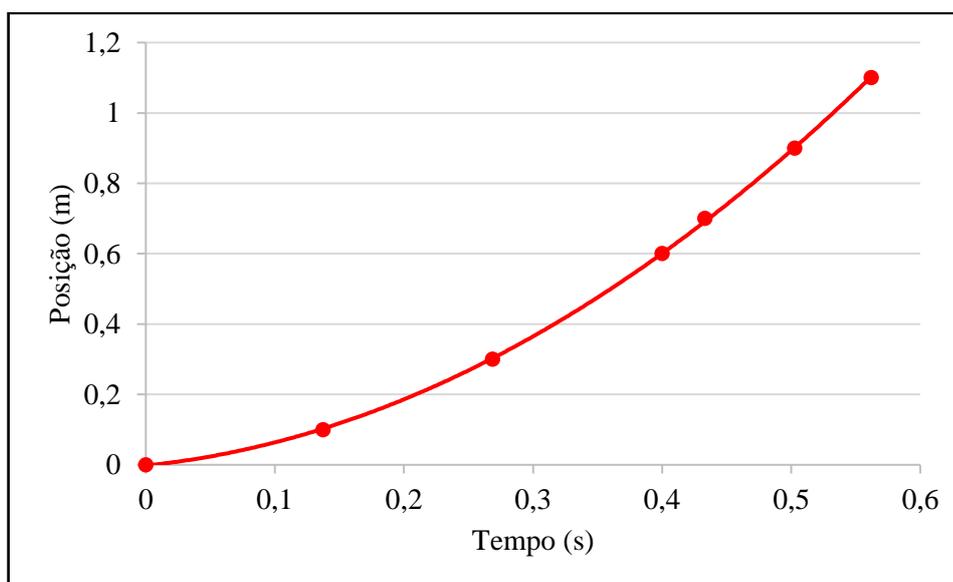
Na figura 11 é mostrado o gráfico da posição em função do tempo para o movimento da bolinha para o ângulo de  $30^\circ$ . Observa-se que o comportamento é do tipo acelerado cuja função pode ser representada pela equação 12.

**Figura 11 – Gráfico da posição em função do tempo para  $30^\circ$**



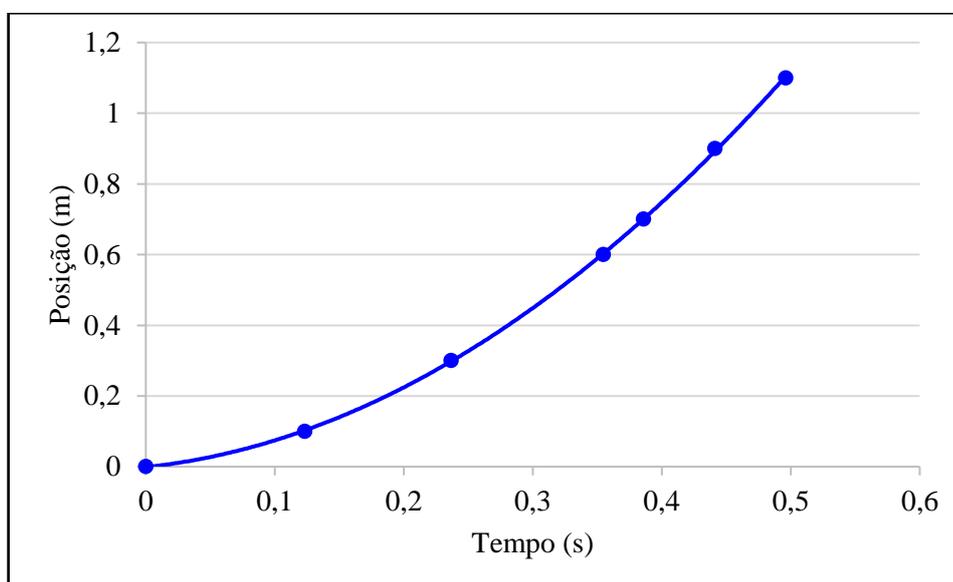
O mesmo foi feito para as outras angulações. Na figura 12 está o gráfico da posição em função do tempo para o movimento da bolinha para o ângulo de  $45^\circ$ .

**Figura 12 – Gráfico da posição em função do tempo para  $45^\circ$**



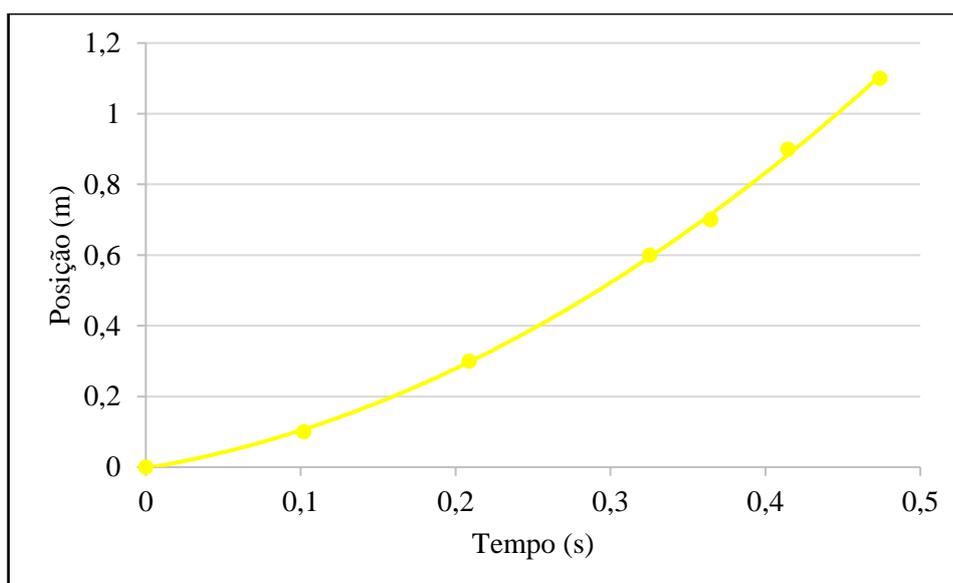
Para um ângulo de  $60^\circ$ , o comportamento gráfico está representado na figura 13,

**Figura 13 – Gráfico da posição em função do tempo para  $60^\circ$**



Na figura 14 é mostrado o gráfico da posição em função do tempo para o movimento da bolinha para o ângulo de  $90^\circ$ , uma queda livre. Observa-se que o comportamento é acelerado obedecendo a função da equação 12.

**Figura 14 – Gráfico da posição em função do tempo para  $90^\circ$**



Para determinar a aceleração gravitacional no sensor S.2 na angulação de 30° foi utilizada a equação 11 e o dados da tabela 10, cujo valor da aceleração é 7,6839 m/s<sup>2</sup>:

$$g = \frac{7,6839}{\text{sen } 30^\circ}$$

$$g = 15,367 \text{ m/s}^2$$

Esse procedimento foi feito no cálculo da aceleração gravitacional para todos os sensores e em todas as angulações, cujos valores estão representados na tabela 11, observa-se que quanto maior a distância percorrida mais preciso é o valor da aceleração gravitacional devido ao tempo de resposta de aquisição dos sensores, além disso observa-se que do mesmo modo que a aceleração do corpo a gravidade tende a ficar constante para distâncias cada vez maiores.

**Tabela 11 – Aceleração gravitacional da bolinha nos sensores para os quatro ângulos**

	Gravidade (m/s <sup>2</sup> ) em 30°	Gravidade (m/s <sup>2</sup> ) em 45°	Gravidade (m/s <sup>2</sup> ) em 60°	Gravidade (m/s <sup>2</sup> ) em 90°
S.1	-	-	-	-
S.2	15,367	14,996	15,182	19,223
S.3	11,573	11,755	12,369	13,779
S.4	10,161	10,606	11,015	11,337
S.5	9,942	10,543	10,849	10,527
S.6	9,507	10,074	10,671	10,468
S.7	9,241	9,850	10,325	9,791

Com os valores encontrados da aceleração gravitacional podemos obter o valor do erro de cada medida. Para determinar o erro no sensor S.2 na angulação de 30° foi utilizada a equação 14 e o dados da tabela 11, cujo valor da aceleração é 15,3678 m/s<sup>2</sup>:

$$E = \frac{(15,3678 - 9,81)}{9,81} \cdot 100\%$$

$$E = 56,654\%$$

Esse procedimento foi feito para todos os sensores e em todas as angulações, cujos valores estão representados na tabela 12.

**Tabela 12 – Erros do cálculo experimental da gravidade para os quatro ângulos**

	Erro (%) em 30°	Erro (%) em 45°	Erro (%) em 60°	Erro (%) em 90°
S.1	-	-	-	-
S.2	56,654	52,870	54,763	95,956
S.3	17,977	19,831	26,089	40,467
S.4	3,578	8,120	12,290	15,572
S.5	1,355	7,480	10,599	7,3165
S.6	3,080	2,697	8,778	6,710
S.7	5,792	0,414	5,259	0,184

Uma das causas da discordância dos valores da aceleração da gravidade pode ter sido ocasionada por alguns fatores tais como:

- Imprecisão para encontrar o ângulo do plano inclinado, já que foi utilizado um goniômetro milimetrado com uma imprecisão de  $\pm 0,005$  m.
- Como o material do tubo é flexível não é possível obter uma trajetória perfeitamente linear, interferindo nos resultados finais.
- Devido a distância entre os sensores ser muito pequena, o tempo de resposta não garantia precisão na aquisição dos dados.
- Como a bolinha era solta manualmente logo acima do S.1, não há garantia que a velocidade inicial seja igual à 0 m/s na hora do lançamento.
- O deslizamento da bolinha por ter atrito entre a superfície e a bolinha.

## CONCLUSÃO

Portanto, concluímos nesse trabalho que a aceleração gravitacional possui grande importância na vida da maneira que conhecemos hoje, além de sua utilização para aplicações cotidianas, como nas usinas hidrelétricas. Apesar de ser pouco conhecida, muitas descobertas já foram feitas no decorrer da história da ciência a respeito da gravidade.

Pelas equações mostradas vimos que a massa não interfere no cálculo da aceleração gravitacional. E utilizando a teoria aplicada a prática foi calculada o valor da gravidade para quatro ângulos diferentes com sete sensores que coletam o tempo de queda de uma bolinha. Qualquer angulação pode ser colocada no equipamento, possibilitando uma versatilidade didática.

Para o primeiro ponto de aquisição dos dados os erros foram maiores, observamos isso em  $60^\circ$  com um erro de 54,76% e em  $90^\circ$  com um erro de 95,95% devido ao tempo de resposta do sensor. Como o tempo de aquisição do sensor é de centésimos de segundo e o tempo de medidas é da mesma ordem de grandeza, para distâncias curtas ocasionou um erro maior.

Nos outros o atrito ocasiona a discrepância observada principalmente entre o ângulo de  $30^\circ$ , que possui um erro de 5,7% e no ângulo de  $90^\circ$ , que por ser queda livre não possui atrito com a superfície gerando um erro de 0,18%.

Assim, com um erro variando de 5,7% até 0,18% para o último sensor concluímos que o experimento montado possui grande precisão na coleta de dados, apresentando resultados satisfatórios e cumprindo o objetivo proposto inicialmente.

## REFERÊNCIAS

ANTHONY, D. A. The horse, the wheel, and language: how Bronze- Age riders from the Eurasian step pess haped the modern world. Princeton, N.J: Princeton University Press. 2007. p. 67.

BICA, M. R. R.; Kit para estudo e desenvolvimento de pequenas aplicações com microcontroladores PIC. 2014 Disponível: <<http://www.geocities.ws/mrbtec/kit2.pdf>> Acesso em 17 set 2016.

CARVALHO, A. Eu levantarei o mundo. Disponível em: < <http://ceticismo.net/2013/06/20/e-eu-levantarei-o-mundo/>> Acesso em: 14 set 2016.

CHIU, Y. C.; An introduction to the History of Project Management, Delft: Eburon Academic Publishers, 2010 p. 42

DOES, W.; Gravity Travel at the Speed of Light?, *UCR Mathematics*. 1998. Revisa do em 3 July 2008

FARIA. J.A.; ASSOCIAÇÃO DE ROLDANAS. 2010 Disponível em: < <http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula>> Acesso em 19 set 2016

FENÔMENOS NÃO IDENTIFICADOS, <[http://fenomenosnaoidentificados.com.br/2012\\_10\\_01\\_archive](http://fenomenosnaoidentificados.com.br/2012_10_01_archive)> Acesso em: 10 ago 2016

GIMENEZ, S. P., DANTAS, L. P.; Microcontroladores PIC 18: conceitos, operação, fluxogramas e programação. 1 ed. São Paulo: Érica, 2015.

HALLIDAY, D. RESNICK, R. MERRILL, J.; Fundamentos de Física, vol. II, Gravitação, ondas e termodinâmica 4° ed. LTC, Rio de Janeiro: livros técnicos e científicos, 1994.

HEWITT, P., G. Fundamentos da Física Conceitual; Ed. Bookman. RG. 1ª 2011

MARICONDA, P. R.; As mecânicas de Galileu: As máquinas simples em perspectiva com as Técnicas modernas. Scientiestudia, São Paulo, v. 6, n. 4, p. 565-606, 2008

MIYADAIIRA, A. N.; Microcontroladores PIC 18: aprenda e programe em linguagem C. 1 ed. São Paulo: Érica, 2009.

NEWTON, I. Principia: Princípios Matemáticos de Filosofia Natural - livro I. 2 ed., 1 reimpr. São Paulo: Ed USP, 2008, 328p. <http://astro.if.ufrgs.br/newton/principia.pdf> acesso:26 de setembro de 2013

PEF – Projeto de Ensino de Física, Segunda lei de Newton. Mecânica 2. - Instituto de Física. Universidade de São Paulo. 5ed. pp.7-1 - 7-21. Rio de Janeiro: FAE, 1984.

PIRES, P.; ANTONIO S.T. Evolução das ideias da Física. 2º Edição – São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

ROSA, C. A. P. História da ciência: o pensamento científico e a ciência no século XIX / Carlos Augusto de Proença. — 2. ed. — Brasília: FUNAG, 2012.

SILVA, D. C. da; Terceira lei de Newton. Disponível em: < <http://alunosonline.uol.com.br/fisica/terceira-lei-newton.html> > Acesso em 14 set 2016.

SILVEIRA, F. L. Potência de tração de um veículo automotor que se movimenta com velocidade constante. Rev. Bras. Ensino Fís. vol.33 no.1 São Paulo Jan./Mar. 2011

TEIXEIRA, M. M. "Alavanca"; Brasil Escola. Disponível em: <<http://brasilecola.uol.com.br/fisica/alavanca.htm>>. Acesso em 17 set 2016.

USHER, A. P.; A.; History of Mechanical Inventions USA: Courier Dover Publications. 1998. p. 98.

## APÊNDICE

A1 – Programa escrito em linguagem C para controlar o experimento.

```
// Código fonte para implementação de um cronometro com a menor base de tempo
// em centésimo de segundo para aplicação no projeto de registro de tempo
// no projeto do plano inclinado
```

```
#include <p18f4520.h>
#include <xc.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <string.h>
#include "configura.h"
#include <ctype.h>

char cseg=0, dseg=0, seg=0;
char data[21];
char resultado[21];
bit final=0;
void transmite (char *a);
int contatempo=0, counter=0, i=0;
void envia (void);
void atualiza(void);
void escreve(void);
void main(void)
{
    configura_bits();
    #define _XTAL_FREQ 4000000
    #define botao PORTCbits.RC1
    #define back LATA5

    back=1;
    TMR0=231;
    PORTB=0;
    PORTD=0;

    while(1)
    {

    }

}

void atualiza (void)
{
    cseg++;
    if(cseg>9)
```



```

    }
}

static void interrupt myHilSr(void)

{
    if(TMR0IF==1)
    {
        TMR0IF=0;
        contatempo++;
        TMR0=231;
        if(contatempo==25)
        {
            contatempo=0;
            atualiza();
        }
    }

    if(INT0IF==1)
    {
        if(counter==0)
        {
            TMR0IE=1;
        }
        INT0IF=0;
        LATB7=!LATB7;
        escreve();
    }

    if(INT1IF==1)
    {
        INT1IF=0;
        LATB7=0;
        final=1;
        TMR0IE=0;
        escreve();
    }
}

/*
* File: configura.h
* Author: marcos

```

\*

\* Created on 14 de Outubro de 2016, 19:49

\*/

```
#include <xc.h>
```

```
// CONFIG1H
```

```
#pragma config OSC = INTIO67
```

```
#pragma config FCMEN = OFF
```

```
#pragma config IESO = OFF
```

```
// CONFIG2L
```

```
#pragma config PWRT = OFF
```

```
#pragma config BOREN = SBORDIS
```

```
#pragma config BORV = 3
```

```
// CONFIG2H
```

```
#pragma config WDT = OFF
```

```
#pragma config WDTPS = 32768
```

```
// CONFIG3H
```

```
#pragma config CCP2MX = PORTC
```

```
#pragma config PBADEN = OFF
```

```
#pragma config LPT1OSC = OFF
```

```
#pragma config MCLRE = ON
```

```
// CONFIG4L
```

```
#pragma config STVREN = ON
```

```
#pragma config LVP = OFF
```

```
#pragma config XINST = OFF
```

```
// CONFIG5L
```

```
#pragma config CP0 = OFF
```

```
#pragma config CP1 = OFF
```

```
#pragma config CP2 = OFF
```

```
#pragma config CP3 = OFF
```

```
// CONFIG5H
```

```
#pragma config CPB = OFF
```

```
#pragma config CPD = OFF
```

```
// CONFIG6L
```

```
#pragma config WRT0 = OFF
```

```
#pragma config WRT1 = OFF
```

```
#pragma config WRT2 = OFF
```

```
#pragma config WRT3 = OFF
```

```
// CONFIG6H
```

```
#pragma config WRTC = OFF
#pragma config WRTB = OFF
#pragma config WRTD = OFF
```

```
// CONFIG7L
#pragma config EBTR0 = OFF
#pragma config EBTR1 = OFF
#pragma config EBTR2 = OFF
#pragma config EBTR3 = OFF
```

```
// CONFIG7H
#pragma config EBTRB = OFF
```

```
void configura_bits(void)
```

```
{
```

```
    TRISA=0B11011111; // configuração direção PORTA 1 =entrada 0 = saída
    TRISB=0B00000011; // configuração direção PORTB 1 =entrada 0 = saída
    TRISC=0B11111111; // configuração direção PORTC 1 =entrada 0 = saída
    TRISD=0B00000000; // configuração direção PORTD 1 =entrada 0 = saída
    TRISE=0B1000; // configuração direção PORTE 1 =entrada 0 = saída
    OSCCON=0B01100110; // CONFIGURAÇÃO DO OSCILADOR INTERNO EM 4MHz
    OSCTUNE=0B00000000; // configuração de sintonia do oscilador.
    INTCON= 0B11010000;
    INTCON2=0B11110100;
    INTCON3=0B01001000;
    T0CON=0B11000011;
    IPEN=1;
    TXSTA=0B00100110;
    RCSTA=0B10010000;
    BAUDCON=0;
    SPBRG=25;
```

```
    ADCON0=0b00000001;
    ADCON1=0B00001111;
```

```
}
```