



FACULDADE DE EDUCAÇÃO E MEIO AMBIENTE

JACKSON FACCO BRANDT

**CONSTRUÇÃO E UTILIZAÇÃO DO PÊNDULO
BALÍSTICO COMO PRÁTICA EXPERIMENTAL PARA
O ENSINO DA CONSERVAÇÃO DE MOMENTO
LINEAR E CONSERVAÇÃO DE ENERGIA**

ARIQUEMES – RO

2013

Jackson Facco Brandt

**CONSTRUÇÃO E UTILIZAÇÃO DO PÊNULO BALÍSTICO
COMO PRÁTICA EXPERIMENTAL PARA O ENSINO DA
CONSERVAÇÃO DE MOMENTO LINEAR E CONSERVAÇÃO
DE ENERGIA**

Monografia apresentada ao curso de Licenciatura em Física da Faculdade de Educação e Meio Ambiente – FAEMA, como requisito parcial a obtenção do grau de Licenciado em: Física.

Orientador: Prof.Ms. Gustavo José Farias

Ariquemes – RO

2013

Jackson Facco Brandt

**CONSTRUÇÃO E UTILIZAÇÃO DO PÊNULO BALÍSTICO
COMO PRÁTICA EXPERIMENTAL PARA O ENSINO DA
CONSERVAÇÃO DE MOMENTO LINEAR E CONSERVAÇÃO
DE ENERGIA**

Monografia apresentada ao curso de
Licenciatura em Física da Faculdade de
Educação e Meio Ambiente como requisito
parcial à obtenção do Grau de Licenciado.

COMISSÃO EXAMINADORA:

Orientador: Prof^o. Ms. Gustavo José Farias
Faculdade de Educação e Meio Ambiente – FAEMA

Prof^a. Ms. Filomena Maria Minetto Brondani
Faculdade de Educação e Meio Ambiente – FAEMA

Prof^o. Esp. Isaías Fernandes Gomes
Faculdade de Educação e Meio Ambiente – FAEMA

Ariquemes, 29 de Novembro de 2013

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao senhor Deus que é o criador de tudo e de todos, aos meus familiares e amigos que compreenderam o motivo de minha ausência durante minha formação.

A minha mãe que me gerou, tornando possível este momento.

A minha irmã Josieli, que sempre foi mais que uma irmã.

Agradeço aos professores que me guiaram, em especial aos professores Thiago pela sua amizade, a professora Filomena pela sua dedicação, a professora Rosani pela sua atenção e ao professor Gustavo meu orientador.

Aos amigos Adevair, Larissa e Rayrison, que conheci neste caminho, sendo todos de fundamental importância.

A minha noiva Bruna, que me fortaleceu mesmo quando pensei em desistir, e por sempre estar ao meu lado.

RESUMO

Com base em fundamentações científicas foi construído um pêndulo balístico e com uma carabina de pressão, realizado testes para aferir a velocidade de deslocamento de projéteis, levando em consideração a conservação de momento linear e conservação de energia, comparando estatisticamente a média de seus resultados com os resultados obtidos em testes utilizando um cronógrafo. Demonstrando desta forma que o pêndulo balístico apresenta resultados precisos sendo de grande valia para prática experimental.

Palavras-chave: Pêndulo Balístico, Carabina de Pressão, Cronógrafo.

ABSTRACT

Based on scientific foundations was built a ballistic pendulum and a carbine, performed tests to measure the displacement speed of projectiles, taking into account the conservation of linear momentum and energy conservation by comparing statistically averaged their results with the results obtained in tests using a chronograph. Demonstrating that the ballistic pendulum presents accurate results being of great value for experimental practice.

Keywords: Ballistic Pendulum, carbine, chronograph.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Pêndulo Balístico	12
Figura 2 – Ângulo Pêndulo	14
Figura 3 – Carabina de Pressão	17
Figura 4 – Marca Modelo Carabina	17
Figura 5 – Marca Modelo Chumbinho	18
Figura 6 – Chumbinho	18
Figura 7 – Cronógrafo	19
Figura 8 – Espessura da Chapa	20
Figura 9 – Largura Chapa Base	20
Figura 10 – Comprimento Chapa Base	20
Figura 11 – Comprimento Chapa Lateral	21
Figura 12 – Corte das Chapas	21
Figura 13 – Lixando as Chapas	22
Figura 14 – Solda Chapas	22
Figura 15 – Chapas Soldadas	23
Figura 16 – Diâmetro Barra	23
Figura 17 – Comprimento Barra	24
Figura 18 – Solda Barra	24
Figura 19 – Estrutura do Pêndulo	24
Figura 20 – Usinando Bucha	25
Figura 21 – Comprimento Bucha	25
Figura 22 – Largura Bucha	25
Figura 23 – Haste Pêndulo	26
Figura 24 – Comprimento Haste	26
Figura 25 – Fissura Haste	27

Figura 26 – Comprimento Fissura	27
Figura 27 – Cilindro Pêndulo	27
Figura 28 – Cilindro Posicionado	28
Figura 29 – Largura Bloco	28
Figura 30 – Altura Bloco	29
Figura 31 – Comprimento Bloco	29
Figura 32 – Bloco Posicionado	29
Figura 33 – Lixando Eixo	30
Figura 34 – Eixo Lixado	30
Figura 35 – Posicionamento Haste Determinística	31
Figura 36 – Comprimento Haste Determinística	31
Figura 37 – Hastes Paralelas	32
Figura 38 – Hastes Perpendiculares	32
Figura 39 – Pêndulo Finalizado	32
Figura 40 – Haste Determinística Graxa	33
Figura 41 – Pêndulo Finalizado	33

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	9
2 REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1 ASPECTOS HISTÓRICOS.....	11
2.2 O PÊNDULO BALÍSTICO – FORMULAÇÃO TEÓRICA.....	11
3 OBJETIVOS	16
3.1 OBJETIVO GERAL.....	16
3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	16
4 METODOLOGIA	17
4.1 CARABINA DE PRESSÃO E PROJÉTIL	17
4.2 CRONÓGRAFO	18
4.3 CONSTRUÇÃO DA ESTRUTURA DO PÊNDULO.....	19
4.4 FIXAÇÃO DA HASTE DO PÊNDULO NA ESTRUTURA	25
4.5 BLOCO DO PÊNDULO	26
4.6 HASTE QUE DETERMINA O ÂNGULO.....	30
4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA	34
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	355
CONCLUSÃO	388
REFERÊNCIAS	399

INTRODUÇÃO

Uma das formas mais antigas de explicar um determinado assunto ou transmitir um conhecimento é através da comunicação por gestos e expressões a qual podemos determinar como sendo formas palpáveis de se comunicar, sendo aperfeiçoada conforme as necessidades e acompanhando a evolução humana em todo o globo terrestre. (CAES, 2011).

Seguindo esta linha de raciocínio, a utilização de práticas experimentais é uma das maneiras mais interessantes, motivadoras e destacadas entre as metodologias para o ensino de ciências, conforme relatos dos próprios alunos (GIORDAN, 1999). Um caminho que torna fácil o ensino de ciências e do desenvolvimento social é através da inserção de práticas experimentais, respeitando claramente seus limites de compreensão. (ALMEIDA, 1995).

O laboratório experimental é uma área com recursos que geralmente tem alto custo na sua aquisição e manutenção por se tratar de um local criado especificamente para práticas de ensino com instrumentos e equipamentos (VINHAS, 2007). Os baixos custos na experimentação em sala, utilizando-se principalmente de materiais que são observados no cotidiano, a tornam uma ferramenta auxiliadora que promove a participação entusiasmada dos alunos. (ARAÚJO; ABIB, 2003).

É de conhecimento dos professores de ciências o fato da experimentação despertar um forte interesse entre os alunos em diversos níveis de escolarização. Em seus depoimentos, os alunos também costumam atribuir à experimentação um caráter motivador, lúdico, essencialmente vinculado aos sentidos. Por outro lado, não é incomum ouvir de professores a afirmativa que a experimentação aumenta a capacidade de aprendizado, pois funciona como meio de envolver o aluno nos temas que estão em pauta. (GIORDAN 1999, p. 1).

A experimentação se encaixa no 'aprender fazendo', como posto por Sanches (2011). Ainda nesse aspecto, os experimentos quantitativos transmitem conhecimentos inerentes aos comuns na investigação científica, demonstrando formas corretas de manuseio e observação através de instrumentos e erros sistemáticos. (ARAÚJO; ABIB, 2003). Desta forma os alunos se adaptam ao meio

social que estão imersos, onde a cada dia é cobrado de diferentes formas: aprimoramento dos saberes tecnológicos. (OLIVEIRA, 2010).

Dentro da disciplina de física, o estudo das leis de conservação de energia e de momento linear são temas de central importância, e que podem ser aplicados de forma prática em sala de aula. Um experimento bastante útil, e ao mesmo tempo lúdico, para trabalhar os conceitos de conservação em física é o “pêndulo balístico”, que serve para determinar velocidades de projéteis. Esse aparato experimental foi criado com base em fundamentações científicas sugeridas por Giovanni D. Cassini em 1707, e implementado por Benjamin Robis em 1740. (MORALES, 2000).

Este trabalho apresenta uma proposta de construção de um pêndulo balístico, e também trás resultados experimentais para velocidades de projéteis de uma carabina de pressão, coletados a partir de experimentos com o pêndulo. O trabalho se justifica na tentativa de unir o lúdico ao prático nas aulas de física a nível médio, sendo esse um experimento que pode ser realizado em espaço aberto com a participação direta dos alunos, desde a sua construção até a coleta de dados, a fim de gerar uma aprendizagem significativa dos conceitos de conservação de momento linear e conservação de energia.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ASPECTOS HISTÓRICOS

A partir do Século XV a indústria bélica teve grandes conquistas com desenvolvimentos de armas de fogo portáteis, manuseadas por apenas uma pessoa, sendo capazes de disparar projéteis a longas distâncias, porém ainda com pouca precisão e baixa capacidade de tiro. (BEAUD, 1987).

Até então não se sabia como determinar a velocidade de deslocamento do projétil após o disparo, tornando o conjunto arma/projétil variável de acordo com a recarga que era efetuada. (PINTO, 2009). Segundo Morales (2000), somente em 1742, o inglês, matemático e engenheiro militar Benjamin Robins publicou em seu livro “New Principles of Gunnery”, dentre vários assuntos, uma revolução na ciência balística. Utilizando um aparato experimental chamado “pêndulo balístico” foi capaz de determinar com precisão a velocidade com que um projétil era expelido da arma.

2.2 O PÊNDULO BALÍSTICO – FORMULAÇÃO TEÓRICA

Utilizando-se de princípios físicos como conservação de energia e momento linear, Robins apresentou seu invento que ficou conhecido mundialmente como “Pêndulo Balístico”. O pêndulo balístico tem estrutura similar ao pêndulo de um relógio, porém este permanece com sua haste estática, na direção vertical. Quando atingido por um projétil o bloco do pêndulo se desloca lateralmente, formando um determinado ângulo com sua posição inicial. A amplitude desse ângulo depende da energia cinética do projétil, que por sua vez é transmitida para o pêndulo.

O experimento funciona da seguinte forma: um projétil de massa “ m ” e velocidade “ V_0 ” é disparado horizontalmente em direção a um bloco de massa “ M ”, suspenso por uma haste de massa desprezível e de comprimento “ L ”. Ambos o bloco e a haste se encontram estáticos antes da colisão. Após a colisão, o projétil aloja-se no bloco, permanecendo unidos, fenômeno chamado de “colisão perfeitamente inelástica”. O conjunto projétil/pêndulo, tendo massa “ $M+m$ ”, se desloca lateralmente, elevando-se até uma altura “ h ”, formando assim um ângulo “ θ ” com sua posição inicial, conforme mostrado na Figura 1.

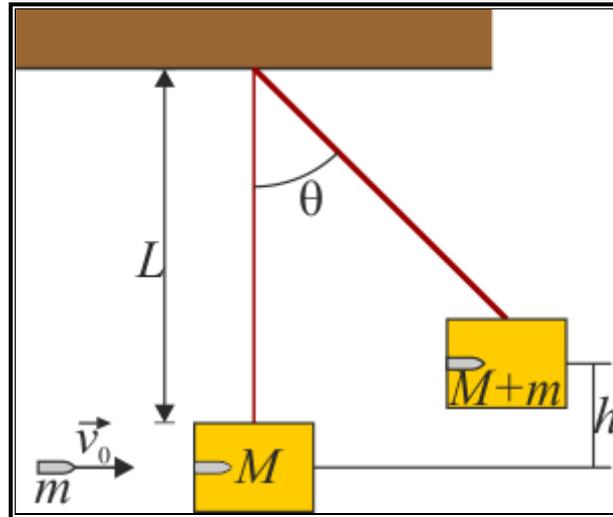


Figura 1 – Pêndulo Balístico
Fonte: Laplace Universidad de Sevilla (2012)

As informações relativas a esse subitem têm como suporte teórico as fundamentações apresentadas por HALLIDAY (2008), por entender que o mesmo apresenta uma clara fundamentação e explanação do assunto.

É possível aferir a velocidade com que o projétil atinge seu alvo utilizando leis de conservação de momento linear, porém, para isso deve-se considerar o sistema projétil-pêndulo como um sistema isolado, desprezando interferências externas como a força de atrito entre o projétil e o ar, o calor produzido no instante do impacto do projétil ao pêndulo, deformações sofridas pelo bloco e perdas sonoras. Essas perdas energéticas são mínimas, podendo ser desprezadas.

O momento linear \vec{p} (ou quantidade de movimento) de um corpo em movimento é definido como o produto de sua massa (m) pela sua velocidade (\vec{v}):

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v} \quad (1)$$

Aqui usaremos essa equação em apenas uma dimensão, ou seja, adotando que o conjunto atua somente em uma direção e sentido.

$$p = m \cdot v \quad (2).$$

A unidade de medida no SI (sistema internacional de unidades) é o $Kg \cdot m/s$. (BRASIL, INMETRO, 2012).

Em um sistema isolado a lei de conservação do momento linear é sempre válida. Se um sistema de partículas não está submetido a nenhuma força externa, o

momento linear total \vec{p} do sistema não pode variar. (AGUIAR, 2011). Matematicamente, essa lei é expressa da seguinte forma (em uma dimensão):

$$p_i = p_f \quad (3)$$

onde “*i*” e “*f*” designam instante inicial e instante final, respectivamente. Neste caso, “ p_i ” representará o momento inicial antes da colisão, e “ p_f ” será o momento final depois da colisão. Na situação em questão, a soma do momento inicial do projétil com o momento inicial do pêndulo é igual ao momento final do projétil/pêndulo:

$$(m \cdot v_0) + (M \cdot V) = (m + M)v_f \quad (4)$$

onde,

m = massa do projétil

v_0 = velocidade do projétil antes da colisão

M = massa do pêndulo

V = velocidade do Pêndulo

$m + M$ = massa do conjunto projétil/pêndulo

v_f = velocidade do conjunto projétil/pêndulo.

Considerando que o pêndulo está estático antes da colisão, então $V = 0$, e a eq. (4) fica,

$$v_f = \left(\frac{m}{m+M} \right) v_0 \quad (5)$$

A equação acima ainda pode ser trabalhada utilizando conservação de energia, sendo esta conservação uma forma de expressar quando uma determinada energia é transformada em outra, aqui a energia cinética (antes da colisão) é transformada em energia potencial gravitacional (após a colisão). A energia cinética é dada pela expressão $E_c = \frac{1}{2}mv^2$. A energia potencial gravitacional é dada pela expressão $U = mgh$. Após a colisão, o pêndulo inicia seu movimento de elevação lateral, partindo de seu estado de repouso, e converte toda a energia cinética inicial do projétil em energia potencial gravitacional U até atingir sua altura máxima. A energia potencial U será

$$U = (m + M)gh \quad (7)$$

onde “ g ” é a aceleração da gravidade, adotado para tal teste $g = 9,8m/s^2$, e “ h ” é a altura máxima atingida pelo pêndulo.

Como a velocidade do projétil e do bloco no início da oscilação é a velocidade v_f após a colisão, podemos escrever essa conservação como

$$\frac{1}{2}(m + M)v_f^2 = (m + M)gh \quad (8)$$

Substituindo a equação (5) em v_f^2 da equação (8), obtemos

$$\frac{1}{2}(m + M) \left(\left(\frac{m}{m+M} \right) v_0 \right)^2 = (m + M)gh \quad (9)$$

Reorganizando os termos temos,

$$v_0 = \frac{m+M}{m} (\sqrt{2gh}) \quad (10)$$

Observando os lados e ângulos formados pelo pêndulo balístico na Figura 2, nota-se a elevação do pêndulo, representado como “ h ”. Utilizando-se de conceitos de trigonometria pode ser determinada a altura “ h ” que o pêndulo atinge (DANTE, 2006).

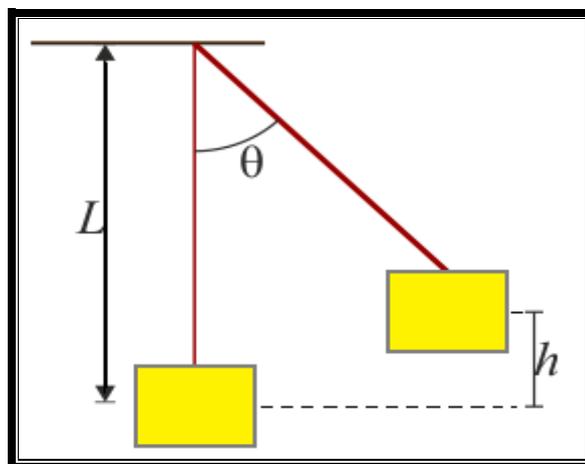


Figura 2 - Ângulo Pêndulo

Cateto Adjacente = $L - h$

Hipotenusa = L

$$\cos \theta = \frac{L-h}{L} \quad (11)$$

Isolando “ h ” de (11) e substituindo o resultado em (10) obtemos finalmente

$$v_0 = \frac{m+M}{m} \left(\sqrt{2gL(1 - \cos\theta)} \right) \quad (12)$$

que será a expressão utilizada para calcular a velocidade inicial do projétil.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Construir um pêndulo balístico, a fim de utilizá-lo para o ensino de conceitos como conservação de momento linear e conservação de energia.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar disparos com uma carabina de pressão num pêndulo balístico para levantamento de dados experimentais a respeito da velocidade inicial do projétil disparado;

Calcular a média da velocidade inicial do projétil;

Comparar estatisticamente a média dos resultados obtidos com o pêndulo dos apresentados após disparos em um cronógrafo.

4 METODOLOGIA

4.1 CARABINA DE PRESSÃO E PROJÉTIL

O experimento foi realizado com uma carabina de pressão CBC Montenegro F18 standard B-19s, Figuras 3 e 4, calibre 4.5mm.

Segundo o decreto 3.665, de 20 de novembro de 2000, Ministério da Defesa, em seu artigo 3º, inciso XV, são consideradas armas de pressão:

Arma cujo princípio de funcionamento implica o emprego de gases comprimidos para impulsão do projétil, os quais podem estar previamente armazenados em um reservatório ou ser produzido por ação de um mecanismo, tal como um êmbolo solidário a uma mola, no momento do disparo. (Brasil, 2000)

Tal arma se diferencia de uma arma de fogo pelo seu método de funcionamento que é definido pelo Decreto nº 3.665 de 20 de novembro 2000, art. 3º, § XIII, do Ministério da Defesa.

Arma que arremessa projéteis empregando a força expansiva dos gases gerados pela combustão de um propelente confinado em uma câmara que, normalmente, está solidária a um cano que tem a função de propiciar continuidade à combustão do propelente, além de direção e estabilidade ao projétil. (Brasil, 2000)



Figura 3 – Carabina de Pressão

Fonte: CBC



Figura 4 – Marca Modelo Carabina

Para que não haja qualquer interferência ocasionada pelo emprego de chumbinhos diferentes aos dos testes a seguir, foram utilizados somente chumbinhos da marca Rifle, modelo diabolô, 4.5mm, Figuras 5 e 6.



Figura 5 – Marca Modelo Chumbinho



Figura 6– Chumbinho

4.2 CRONÓGRAFO

O cronógrafo é um equipamento eletrônico capaz de determinar a velocidade de deslocamento de um projétil, especificamente o cronógrafo aqui apresentado dispõe de dois pares de hastes formando dois trapézios, o projétil passa perpendicularmente no interior destes trapézios, sendo que estão dispostos na base do cronógrafo e entre as duas hastes que formam cada trapézio, os foto sensores, que atuando com um sistema que capta qualquer perda ou diminuição de incidência

luminosa iniciando um sistema de contagem do tempo gasto pelo projétil para percorrer o espaço entre estes sensores, sendo que mede esta velocidade com 99,5% de precisão de acordo com o Manual do Cronógrafo Master Chrony F-1 (2009) (Figura 7).

Este equipamento apresenta configuração de fábrica determinando a velocidade do projétil em fps, que significa a unidade de medida pés multiplicado pelo tempo em segundos, sendo equivalente a 0,3048 m/s, segundo o sistema internacional de unidades (BRASIL, INMETRO, 2012).



Figura 7 - Cronógrafo
Fonte: Diabolô

4.3 CONSTRUÇÃO DA ESTRUTURA DO PÊNDULO

A base de sustentação, eixo, bucha e cilindro do pêndulo balístico foram construídos com apoio dos empresários da torneria Minas Gerais de Ariquemes/RO, que forneceram todo material metálico e mão de obra especializada para uma correta manipulação das ferramentas e equipamentos adequados para construção do referido pêndulo.

O pêndulo balístico foi desenvolvido tendo como matéria prima predominante o metal. Inicialmente foram cortadas duas chapas metálicas ambas com 4 mm de espessura, sendo uma com 25 cm de largura e 42 cm de comprimento, ilustrados nas Figuras 8, 9 e 10, e a segunda chapa com 25 cm de largura por 50 cm de comprimento, Figura 11.

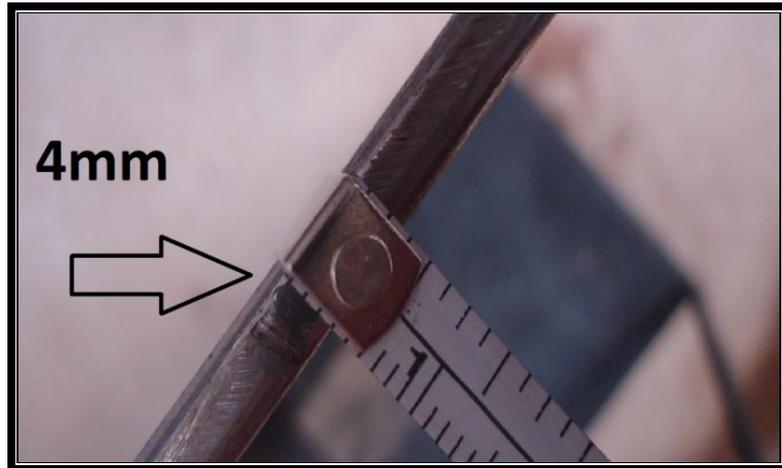


Figura 8 – Espessura da Chapa



Figura 9 – Largura Chapa Base



Figura 10 – Comprimento Chapa Base

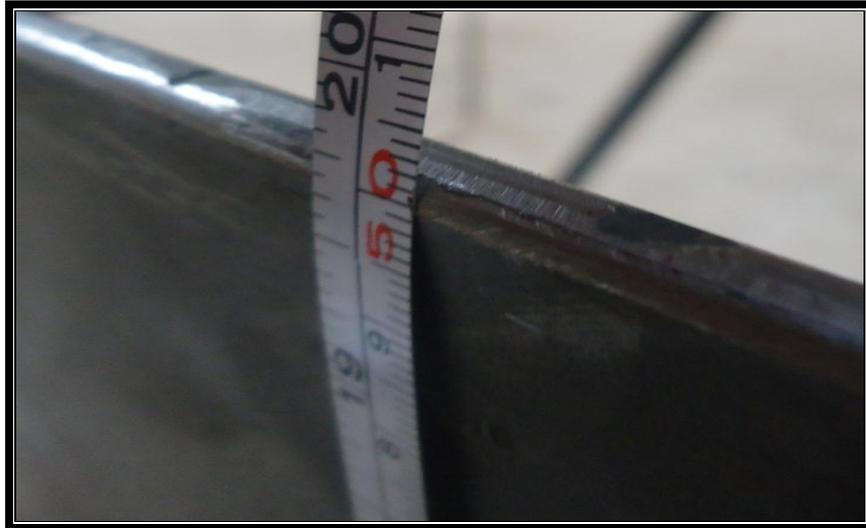


Figura 11 – Comprimento Chapa Lateral

As chapas foram cortadas com a utilização de um maçarico que é um equipamento capaz de soldar, cortar e fundir metais devido a sua grande produção de calor concentrado, Figura 12.



Figura 12 – Corte das Chapas

Após o corte das chapas com medidas aproximadas, o material foi submetido a um melhor acabamento para garantir as medidas pretendidas, sendo utilizada uma lixadeira industrial, conforme Figura 13.



Figura 13 – Lixando as Chapas

Ao término deste processo as chapas foram soldadas uma a outra, formando entre si ângulo de 90° , Figuras 14 e 15.

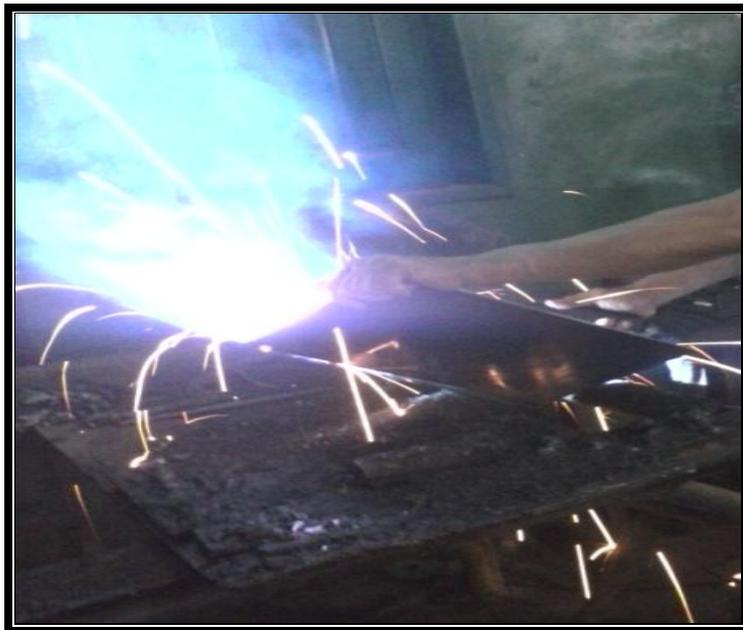


Figura 14 – Solda Chapas



Figura 15 – Chapas Soldadas

Em seguida foram soldadas barras metálicas com aproximadamente 1,3 cm de diâmetro, Figura 16, e 53 cm de comprimento, Figura 17, formando um triângulo, tendo como base a chapa de 42x25 cm, Figura 18, também sendo soldada a extremidade superior do referido triângulo a chapa de 42x50 cm utilizando uma barra metálica de 25 cm, finalizando a estrutura do pêndulo balístico, Figura 19.



Figura 16 – Diâmetro Barra



Figura 17 – Comprimento Barra

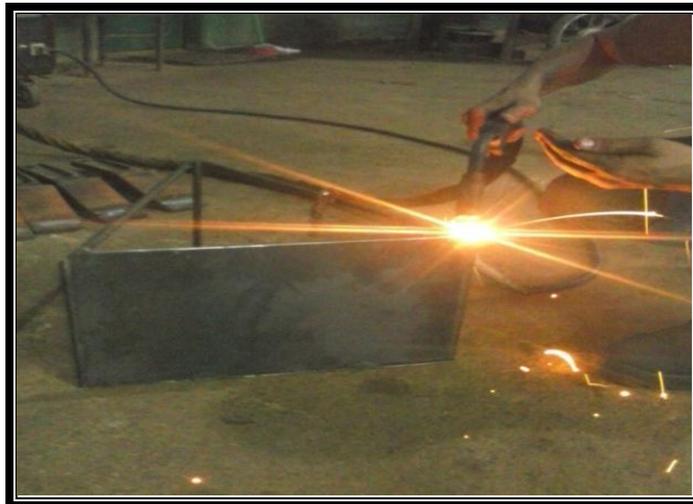


Figura 18 – Solda Barra



Figura 19 – Estrutura do Pêndulo

4.4 FIXAÇÃO DA HASTE DO PÊNDBULO NA ESTRUTURA

Para que o pêndulo realize o pretendido deslocamento lateral, foi usinada uma peça de 2x2 cm para ser utilizada como uma bucha, minimizando assim o atrito entre as peças que articulam o pêndulo, Figuras 20, 21 e 22.



Figura 20 – Usinando Bucha



Figura 21 – Comprimento Bucha

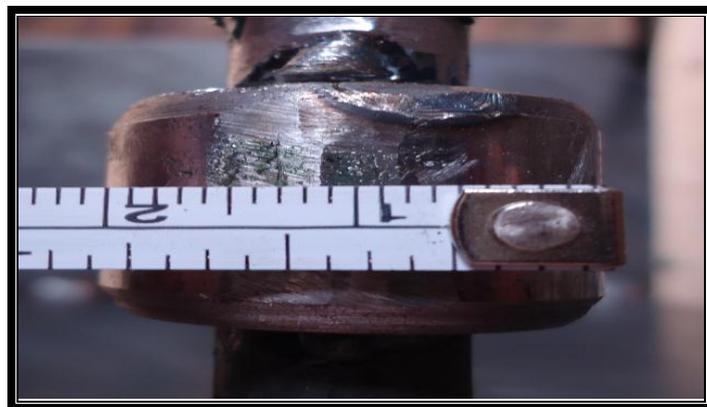


Figura 22 – Largura Bucha

Em seguida uma haste metálica com 34,2 cm de comprimento foi soldada na bucha, sendo posicionada no eixo horizontal do pêndulo, Figuras 23 e 24.



Figura 23 – Haste Pêndulo



Figura 24 - Comprimento Haste

4.5 BLOCO DO PÊNDULO

Com auxílio de uma lima foi feito uma fissura com aproximadamente 0,4 cm de comprimento a 0,6 cm da extremidade da haste, Figuras 25 e 26.



Figura 25 – Fissura Haste

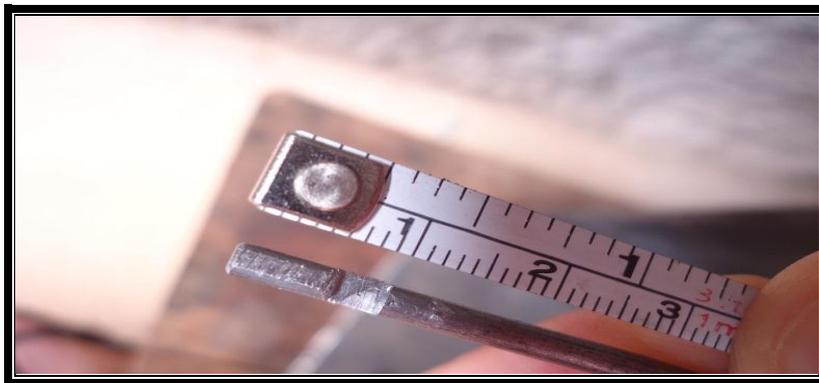


Figura 26 – Comprimento Fissura

Tal fissura na haste foi para fixação do “cilindro” do pêndulo na mesma, pois a haste foi introduzida no orifício superior do cilindro e com um parafuso que foi posicionado no orifício lateral do cilindro a haste foi fixada com pressão suficiente para que o cilindro, de massa de 0,374kg, não se separasse da haste, Figuras 27 e 28.



Figura 27 – Cilindro Pêndulo



Figura 28 – Cilindro Posicionado

Após a fixação do cilindro à haste, foram realizados alguns disparos com a carabina em direção ao cilindro para ser observado qual o índice de deslocamento lateral o mesmo atingiria, isso para saber se a massa do cilindro propiciaria um ângulo que poderia ser facilmente observado por qualquer espectador. Porém o cilindro foi descartado dos testes definitivo de velocidade, pois devido a sua massa o pêndulo não atingia um ângulo satisfatório, sendo utilizado para isso um bloco de madeira com as dimensões 5,5x5x8cm, Figuras 29, 30, e 31, e massa de 0,167847kg, assim como no cilindro foram feitos orifícios de entrada da haste do pêndulo e do parafuso lateral que foi utilizado para fixação do bloco a haste do pêndulo, conforme realizado anteriormente com o cilindro, Figura 32, o qual atendeu as expectativas iniciais.



Figura 29 – Largura Bloco

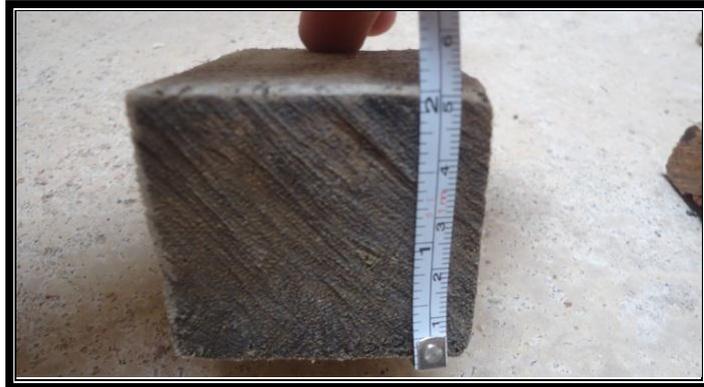


Figura 30 – Altura Bloco



Figura 31 – Comprimento Bloco



Figura 32 – Bloco Posicionado

Após a fixação do bloco a haste do pêndulo, tal conjunto teve comprimento adotado para os testes 37,2cm, pois foi adicionado ao comprimento da haste, que é

de 34,2cm, sendo 1,0cm referente ao raio da bucha e mais 2,0cm até o centro de massa do bloco.

4.6 HASTE QUE DETERMINA O ÂNGULO

Para determinar o ângulo que se forma com a haste do pêndulo da sua posição inicialmente em repouso até sua altura máxima, seria necessário observar atentamente este percurso, porém ele ocorre com muita rapidez tornando a observação visual um recurso com baixa capacidade de constatação exata. Diante disso foi elaborada uma forma mecânica de se registrar o ângulo máximo atingido pelo pêndulo.

Inicialmente foi lixado o eixo horizontal entre a bucha e as barras metálicas, Figuras 33 e 34, tornando esta superfície uniforme.



Figura 33 – Lixando Eixo



Figura 34 – Eixo Lixado

Posteriormente enrolado no eixo um fio de cobre de massa não considerada com 30cm de comprimento, Figuras 35 e 36, sendo que partindo de uma das extremidades, o fio foi enrolado cinco vezes no eixo, a parte restante do fio desceu paralelamente a haste do pêndulo por aproximadamente 5,5cm, Figura 37, sendo então curvado lateralmente, formando ângulo de 90° com a haste do pêndulo passando a frente desta haste, em direção a chapa metálica lateral por aproximadamente 8,5cm, Figura 38, sendo denominado haste determinística.



Figura 35 – Posicionamento Haste Determinística



Figura 36 – Comprimento Haste Determinística

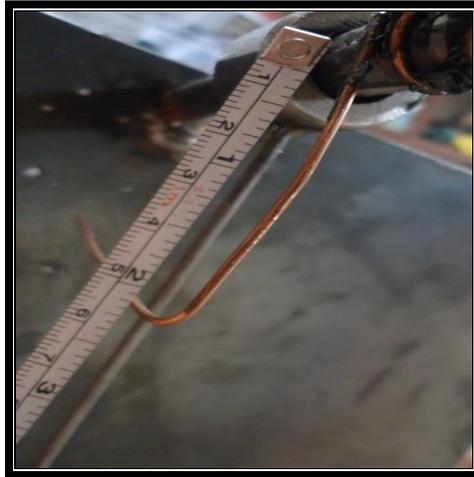


Figura 37 – Hastes Paralelas



Figura 38 – Hastes Perpendiculares

A extremidade da haste determinística ficou direcionada para a chapa metálica na qual foi fixada a imagem de um transferidor com ângulo 90° verticalmente perpendicular ao eixo e ângulo 0° de forma horizontal perpendicular ao eixo, Figura 39.

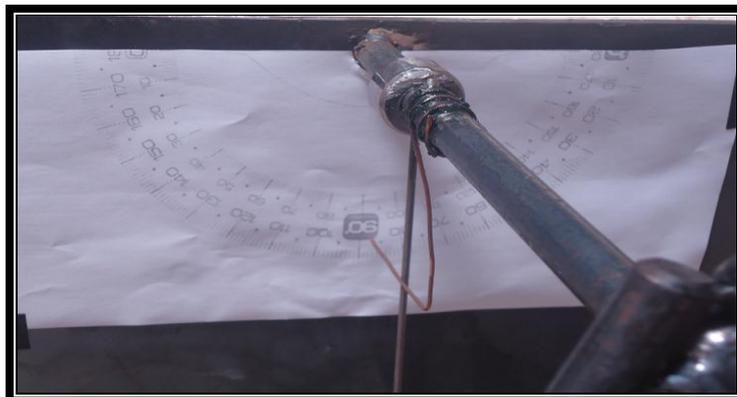


Figura 39 – Pêndulo Finalizado

Quando o bloco do pêndulo é atingido por um projétil, este se deslocará lateralmente no mesmo sentido de deslocamento do projétil, a haste do pêndulo iniciará seu movimento formando determinado ângulo com sua posição inicial, esta por sua vez desloca a haste determinística que está posicionada perpendicularmente a sua frente, determinando o ângulo máximo que o pêndulo atingiu. A haste determinística fica posicionada na altura máxima que o pêndulo atingiu, sem retornar a sua posição inicial, fica aderida a graxa sob o eixo, o que impede seu retorno³, pois o fio utilizado para a haste determinística possui massa insignificante em relação a força da gravidade, Figuras 40 e 41.



Figura 40 – Haste Determinística Graxa



Figura 41 – Pêndulo Finalizado

4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados de velocidade do projétil, obtidos a partir da utilização do pêndulo balístico e do cronógrafo, serão tratados estatisticamente através do teste *t de Student*, que compara médias entre duas amostras independentes entre si. O nível de significância adotado será $\alpha = 0,05$. Será utilizada uma amostra de tamanho $n = 30$ (30 disparos), tanto para o pêndulo quanto para o cronógrafo, para as análises estatísticas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os testes foram realizados adotando um padrão tanto na postura como na cadência dos disparos no pêndulo balístico e no cronógrafo, para minimizar as perdas qualitativas apresentadas em ambos os testes. Para tal uniformidade foi adotado uma distância de 1,5m para os disparos tanto no cronógrafo quanto no pêndulo, e um intervalo de aproximadamente três minutos entre cada disparo, sendo este tempo suficiente para leituras e anotações dos valores apresentados no pêndulo balístico e no cronógrafo, evitando também aquecimento demasiado das peças e componentes da carabina de pressão ou fadiga muscular do atirador, fato que poderia influenciar no direcionamento dos disparos.

O Quadro 1 apresenta os trinta valores dos ângulos obtidos e massas do bloco, com os disparos no pêndulo balístico. A velocidade para cada disparo foi calculada utilizando os dados obtidos do quadro abaixo, através da equação (12):

$$v_0 = \frac{m+M}{m} \left(\sqrt{2gl(1 - \cos\theta)} \right) \quad (12).$$

N° do disparo	Massa do bloco + massa chumbinho (kg)	Ângulo obtido (graus)	Velocidade do projétil (m/s)
01	0,168307	24	290,49
02	0,168767	24	291,28
03	0,169227	22	268,05
04	0,169687	21	256,70
05	0,170147	23	281,60
06	0,170607	23	282,36
07	0,171067	22	270,97
08	0,171527	22	271,69
09	0,171987	21	260,18
10	0,172447	22	273,15
11	0,172907	22	273,88
12	0,173367	22	274,61
13	0,173827	22	275,34
14	0,174287	22	276,07
15	0,174747	23	289,21
16	0,175207	23	289,97
17	0,175667	23	290,73
18	0,176127	23	291,49
19	0,176587	23	292,26
20	0,177047	22	280,44
21	0,177507	22	281,17

22	0,177967	23	294,54
23	0,178427	21	269,92
24	0,178887	23	283,35
25	0,179347	23	296,82
26	0,179807	22	284,81
27	0,180267	22	285,54
28	0,180727	23	299,11
29	0,181187	23	299,87
30	0,181647	22	287,72

Quadro 1 – Dados experimentais do pêndulo balístico

Note-se no quadro 1 que há um acréscimo na massa do bloco que é decorrente da soma das massas do chumbinho e do bloco, pois a cada disparo o chumbinho permanece no interior do bloco adicionando a ele sua massa, tendo como massa inicial do bloco 0,167847 kg e massa do chumbinho $4,6 \times 10^{-4}$ kg.

O Quadro 2 apresenta os trinta primeiros valores das velocidades dos projéteis, em fps e m/s, obtidos com os disparos no cronógrafo.

Nº do disparo	Velocidade do projétil (fps)	Velocidade do projétil (m/s)
01	954,4	290,90
02	936,6	285,47
03	945,7	288,24
09	936,9	285,56
04	944,1	287,76
05	960,6	292,79
06	958,8	292,24
07	944,2	287,79
08	949,9	289,52
09	932,4	282,33
10	930,7	283,67
11	948,5	287,23
12	927,6	280,89
13	955,2	289,26
14	929,8	281,56
15	950,7	287,89
16	925,9	280,39
17	929,6	281,49
18	917,5	277,82
19	926,3	280,49
20	963,9	291,87
21	965,9	292,49
22	926,2	280,47
23	963,9	291,87
24	916,1	277,41

25	936,1	283,46
26	932,8	282,46
27	922,6	279,37
28	963,4	291,74
29	966,8	292,76
30	949,5	287,51

Quadro 2 – Dados experimentais do cronógrafo

As médias e as variâncias obtidas para cada amostra estão na Tabela 1 abaixo.

	Média (m/s)	Variância
Pêndulo	282,11	122,59
Cronógrafo	286,07	24,42

Tabela 1 – Pêndulo e Cronógrafo

Antes da realização do teste t de Student, foi aplicado nas duas amostras o teste de normalidade D'Agostino-Pearson, para verificar se os dados se distribuem normalmente. Os p-valores para as duas amostras foram $p = 0,367$ e $p = 0,2896$ para os dados do pêndulo e do cronógrafo, respectivamente, verificando, assim, que os valores se distribuem de forma normal. Logo após, foi realizado o teste t de Student, onde foi observada uma Heterocedasticidade (variâncias desiguais), nas amostras. O p-valor (bilateral) fornecido pelo teste foi $p = 0,08$.

CONCLUSÃO

Após análise do experimento pode-se notar que a sua utilização como forma de prática pedagógica e não pedagógica é de grande valia, pois todo o processo é cativante e motivador, os valores obtidos com o pêndulo balístico mostram que este equipamento é viável para a proposta, pois seus resultados são aceitáveis levando-se em consideração seu grau de aproximação com o cronógrafo. As médias das duas amostras são estatisticamente iguais, ou seja, conclui-se que o pêndulo balístico foi eficiente na determinação da velocidade.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Marcus A. M. **Tópicos de Mecânica Clássica**. São Paulo: Livraria da Física, 2011. 250 p. v. 15. Disponível em: <http://www.livrariadafisica.com.br/detalhe_produto.aspx?id=102103>. Acesso em 16 nov. 2013.

ALMEIDA, Ana Maria Ferreira Guimas de. **Trabalho experimental na educação em ciências**: Epistemologia, Representações e Práticas dos Professores. 1995. 312 f. Dissertação. (Mestrado, Ciências e educação)- Faculdade de ciências e tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 1995.

ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de; ABIB, Maria Lúcia Vital dos Santos. Atividades Experimentais no Ensino de Física: Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v.25, n.2, p. 176-194, jun. 2003.

BEAUD, Michael. **História do capitalismo**: de 1500 aos nossos dias. São Paulo: Brasiliense, 1987. 409 p.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Sistema Internacional de Unidades**. 9 ed. Rio de Janeiro: INMETRO/CICMA/SEPIN, 2012.

BRASIL. Ministério da Defesa. **Decreto 3.665, art. 3º, § XIII. Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos**. Brasília, DF, 20 Nov. 2000. Disponível em: <<http://legis.senado.gov.br/legislacao/ListaTextoIntegral.action?id=218310&norma=231044>> Acesso em 25 out. 2013

BRASIL. Ministério da Defesa. **Decreto 3.665, art. 3º, inciso XV. Casa Civil, Subchefia para Assuntos jurídicos**. Brasília, DF, 20 nov. 2000. Disponível em: <<http://legis.senado.gov.br/legislacao/ListaTextoIntegral.action?id=218310&norma=231044>> Acesso em 25 out. 2013.

CAES, Valdinei, **A importância da gestualidade na comunicação não-verbal**. 2011. 11f. Dissertação (Mestrando em Filosofia)- Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Disponível em: <http://www.opet.com.br/revista/administracao_e_cienciascontabeis/pdf/n7/A-IMPORTANCIA-DA-GESTUALIDADE-NA-COMUNICACAO-NAO-VERBAL.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2013.

COMPANHIA BRASILEIRA DE CARTUCHOS. Carabina de Pressão. Ribeirão Preto, [200-?]. Disponível em: <http://www.cbc.com.br/carabinas/carabinas/modelos/standard_b19s>. Acesso em: 28 out. 2013.

CRONÓGRAFO balístico F1 chrony. Pinhais, [200-?]. Disponível em: <<http://www.diabolo.com.br/produtos.asp?produto=497&categoria=55&inf=4&a1=&a2=&nome=cronografo-balistico-f1-chrony>>. Acesso em: 02 nov. 2013.

DANTE, Luiz Roberto. **Matemática Contexto e Aplicações**. 3. ed. São Paulo: Ática, 2006. 415 p. v. 1.

GIORDAN, Marcelo, O papel da experimentação no ensino de ciências. **Química nova na escola.**, São Paulo, n. 10, p. 43-49, nov. 1999. Disponível em: <<http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc10/pesquisa.pdf>> Acesso em: 05 nov. 2013.

HALLIDAY, David et al. **Fundamentos de Física**. 8 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 349 p.

MANUAL Cronógrafo Master Chrony F-1. Canadá: Shooting Chrony Inc, 2009. Disponível em: <http://www.shootingchrony.com/manual_F1M1.htm> Acesso em 22 out. 2013.

MORALES, Agustín González, **Narrativa Marítima: Y em España se puso el Sol**. Cuba: Noray, 2000. 170 p.

OLIVEIRA, Jane Raquel Silva de. Contribuições e abordagens das atividades experimentais no ensino de ciências: reunindo elementos para a prática docente. **Revista Acta Scientiae**, Canoas, v.12, n.1, p. 139-153, jun. 2010. Disponível em: <<http://www.periodicos.ulbra.br/index.php/acta/article/view/31>> Acesso em: 10 nov. 2013.

PINTO, Renato Fernando Marques. As indústrias Militares e As Armas de Fogo Portáteis no Exército Português. **Revista Militar**, Lisboa, n. 2495, dez. 2009. Disponível em: <http://www.revistamilitar.pt/artigo.php?art_id=528>. Acesso em: 05 nov. 2013.

SANCHES, Isabel Rodrigues. Do 'Aprende Para Fazer' ao 'Aprender Fazendo' as Práticas de Educação Inclusiva na Escola. **Revista Lusófona de Educação**, Portugal, v. 19 n.19, p. 135-156, dez. 2011.

UNIVERSIDADE DE SEVILLA. Pêndulo Balístico. Sevilla; [2012]. Disponível em: <http://laplace.us.es/wiki/index.php/P%C3%A9ndulo_bal%C3%ADstico>. Acesso em: 29 out. 2013.

VINHAS, Roni Dias. **Gestão da manutenção de equipamentos de laboratório: uma estratégia para melhoria do desempenho da atividade de pesquisa em uma instituição de C&T em saúde**. 2007. 115f. Dissertação. (Mestrado em Ciências)- Centro de Pesquisa Aggeu Magalhães, Fundação Oswaldo Cruz, Recife, 2007.