
RE-EDITANDO O TREM DE GALILEU: UMA VERSÃO ECONOMICAMENTE VIÁVEL⁺*

Deisy P. M. Lopes

Alzira C. M. Stein-Barana

Luís R. M. Bortolin

José R. M. Bortolin

Departamento de Física –IGCE – UNESP

Rio Claro – SP

Resumo

A montagem experimental conhecida como “trem de Galileu” que ilustra o princípio da independência dos movimentos é uma ferramenta didática muito atraente para o ensino de Cinemática, em particular no estudo da trajetória de um projétil. Assim, este artigo tem o objetivo de apresentar uma versão alternativa ao trem de Galileu, rebatizada como “carro de Galileu”. A característica desta versão é seu baixo custo, manuseio simples e construção com materiais facilmente encontrados no mercado. Usando este equipamento o professor poderá motivar os alunos a terem uma participação ativa nas aulas de Cinemática.

Palavras chaves: *Trem de Galileu, trajetória de projéteis, Cinemática.*

Abstract

The experimental apparatus known as “Galileo’s train” which shows the principle of independence of movements, is a very attractive didactic tool to be used in Kinematics teaching, particularly if it is applied in the studies of the trajectory de-

⁺ Remodeling the Galileo’s train: an economically viable version

^{*} *Recebido: dezembro de 2005.*

Aceito: setembro de 2006.

scribed by a projectile. This article, therefore, has the purpose to present an alternative to the “Galileo’s train” now called “Galileo’s car”. The characteristic of this equipment is its low cost, simply handling and assembled with materials easily found in the market. In using this apparatus, the teacher will be able to motivate the students to actively participate in the Kinematics classes.

Keywords: *Galileo’s train, projectiles trajectory, Kinematics.*

I. Introdução

O trem de Galileu, mostrado na Fig. 1, é um aparato experimental usualmente encontrado em Museus de Ciências (USP, 2005) e Experimentotecas (UNESP, 2005; UNB, 1998). Com ele é possível demonstrar o princípio de independência dos movimentos, postulado pela primeira vez por Galileu (GALILEI, 1988). Este princípio, quando aplicado ao estudo da trajetória de projéteis (GASPAR, 2000), desprezando a resistência do ar, pode ser enunciado de forma simplificada como:

Quando um projétil se desloca, o movimento descrito por uma das coordenadas é independente do movimento descrito pela outra. O movimento real é obtido pela composição dos movimentos descritos pelas duas coordenadas.

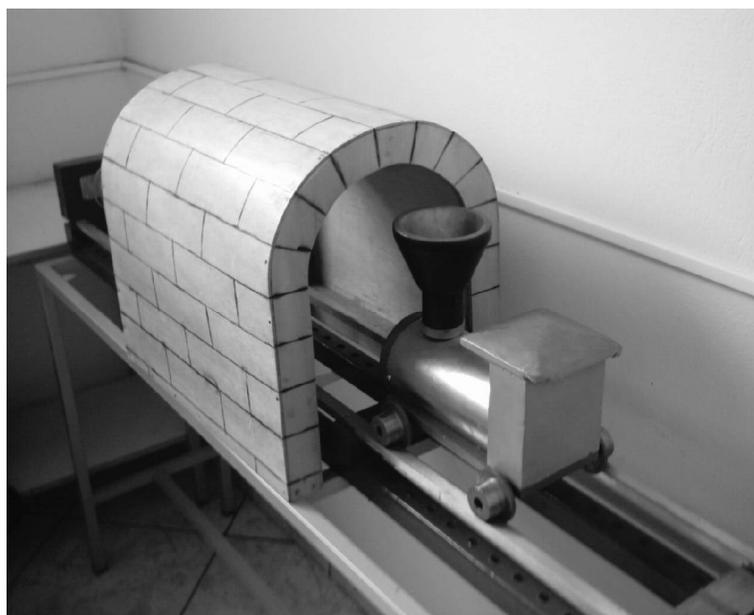


Fig. 1 – Trem de Galileu Clássico (UNESP, 2005).

Usando o trem de Galileu também é possível mostrar que a descrição de um movimento depende das referências ou do referencial em relação ao qual este é analisado.

O uso desta montagem experimental em sala de aula pode ser muito estimulante como um preparo ao estudo do movimento de projéteis na Cinemática, tanto para alunos do ensino médio como superior. Até mesmo alunos do ensino fundamental, podem ser incitados a trabalharem o conceito de movimento relativo, através deste recurso experimental. Como levar este recurso para a sala, para ser usado em qualquer escola, mesmo onde não haja laboratório didático? A solução é re-editar o trem de Galileu com materiais de baixo custo, que possam ser facilmente encontrados no mercado.

Neste trabalho é mostrado como re-editar este trem, agora rebatizado com o nome “Carro de Galileu”. Toda a montagem pode ser facilmente reproduzida e seu custo não é superior a R\$ 20,00.

II. O Trem de Galileu Clássico

O trem de Galileu clássico, mostrado na Fig. 1, não é um equipamento fácil de se levar para uma sala de aula, nem facilmente encontrado no mercado de equipamentos didáticos. Ele consta de um trilho reto (daí o nome trem) com uma parte maior plana e uma pequena parte inclinada na extremidade; um trem com rodas cujo rolamento tem atrito mínimo; um dispositivo disparador do projétil (uma bola de metal), acionado eletromagneticamente; e um funil para recolher o projétil. Geralmente é colocado um “túnel” ao longo dos trilhos o que torna a demonstração experimental mais “excitante”.

Com o disparador engatilhado, o trem é levado à parte mais alta do trilho e solto em seguida. Ao passar por um determinado ponto, onde o movimento é aproximadamente retilíneo uniforme (MRU), o gatilho é acionado, o projétil é lançado e descreve uma trajetória parabólica em um referencial em repouso em relação ao trilho do trem. Em relação a um referencial fixo no trem, a esfera descreve uma trajetória retilínea de subida e descida, sendo recolhida em seguida pelo funil.

A forma mais simples de descrever o movimento da bola de metal é considerar que, do ponto de vista do referencial fixo no trilho, o movimento pode ser decomposto em dois movimentos: um movimento MRU, ao longo de uma coordenada orientada na direção e sentido do deslocamento do trem e outro perpendicular a este, retilíneo uniformemente variado (MRUV), sob a ação da aceleração gravitacional. Um estudo mais completo sobre movimento de projéteis, adequado para o nível médio de ensino pode ser encontrado na

referência (GASPAR, 2000). Para o ensino superior, a referência (ALONSO; FINN, 1972), é interessante quando se quer fazer um estudo vetorial detalhado.

III. O Carro de Galileu

O carro de Galileu descrito neste trabalho está mostrado na Fig. 2.

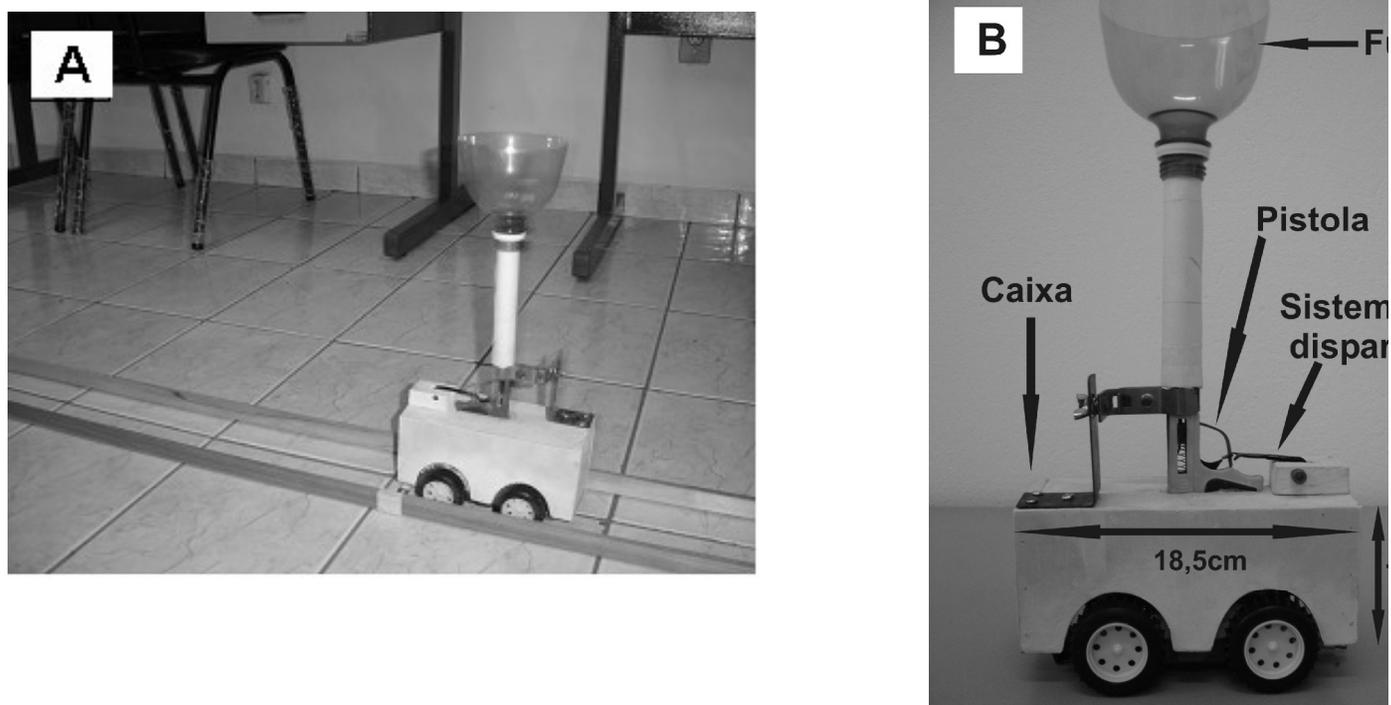


Fig. 2 – Montagem experimental com o Carro de Galileu (A) e detalhe do carro (B).

Ele consiste de um carro de brinquedo eletrônico simples, movido a pilhas (utiliza duas pilhas AA) e pode ser adquirido em lojas de “R\$ 1,99”. Sobre o carrinho foi adaptada uma caixa de madeira leve. O conjunto todo, composto da caixa, carro, suporte do sistema de disparo e funil “pesa” 0,530 Kg e desenvolve velocidade média de 0,70 m/s. A caixa tem 8,5cm de largura, 18,5 cm de comprimento e 7,5 cm de altura.

A Fig. 3 mostra os detalhes do sistema de disparo do “Carro de Galileu”. Na caixa (A) foram fixados: uma pistola de plástico (B) e o sistema de disparo do conjunto (C). A pistola de plástico mostrada nas Fig. 2.B e 3.a é uma pistola de brinquedo pequena, o cano tem cerca de 7 cm de comprimento e utiliza uma mola de constante elástica desconhecida para disparar projéteis esféricos de 1,5 cm de diâmetro. O gatilho da pistola é acionado mecanicamente.

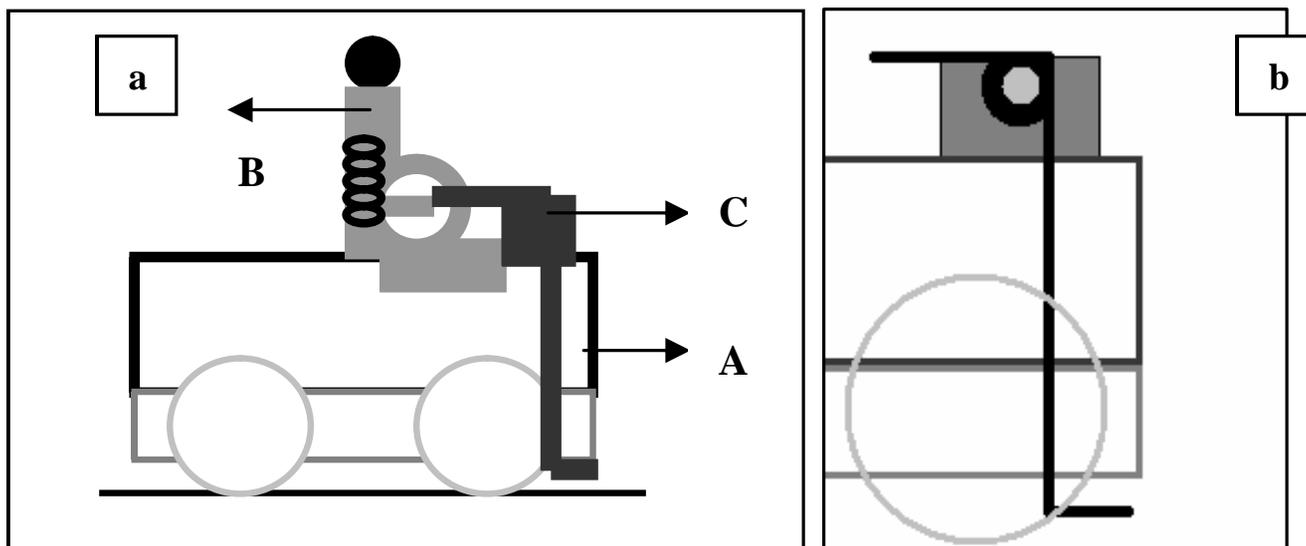


Fig. 3 – Esquema da construção do carro com a pistola para disparar o projétil (a) e detalhe do sistema de disparo (b).

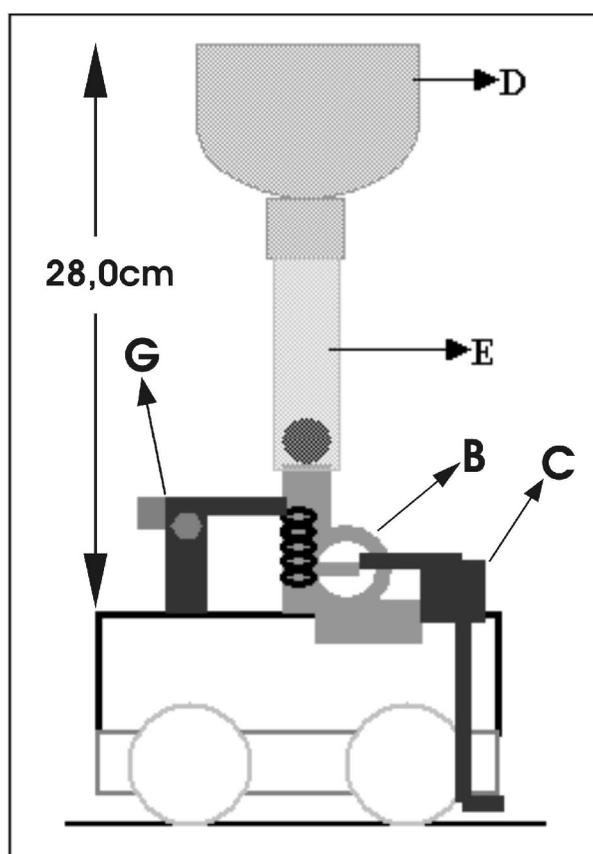


Fig. 4 – Fixação do funil, para recolher o projétil.

Após o lançamento, o projétil (bolinha) é recolhido em um funil de plástico (D) adaptado à boca da pistola (B), feito com a parte superior de uma garrafa PET, como está ilustrado na Fig. 4. Para que a resistência do ar, não afetasse o movimento do projétil, aumentou-se a massa da bolinha com a introdução de areia e massa de modelar no interior da mesma. A bolinha utilizada pesa 2,10 gramas. A escolha deste valor foi empírica, testando-se projéteis com diferentes massas.

De forma, a manter o carro em uma determinada direção de movimento e evitar desvios, foi confeccionado um guia (canaleta) com 4 ripas de madeira, na forma de um retângulo de 10,5 cm de largura e 2,20 m de comprimento, em cujo interior o carro se desloca. A largura do guia é apenas um pouco maior que a largura do carro que incluindo as rodas é de 10,3 cm. A Fig. 5 ilustra o guia de madeira.

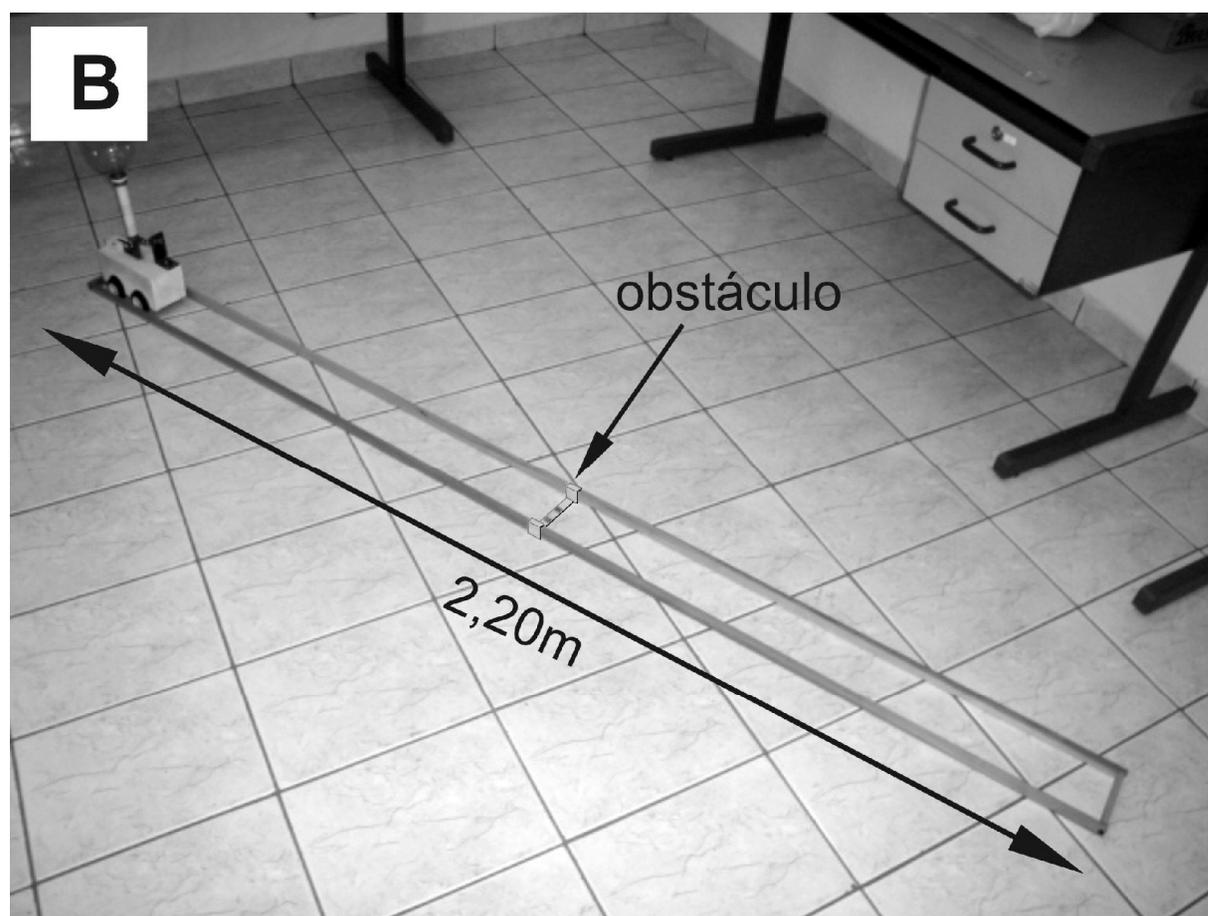
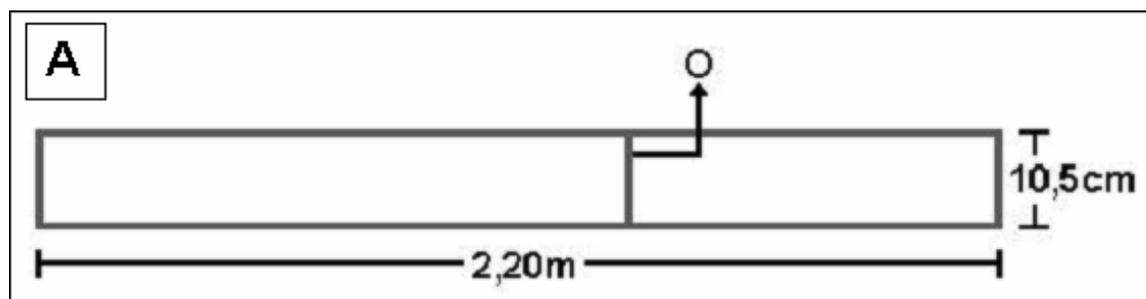


Fig. 5 – Vista superior do guia de madeira: (A) esquema com as dimensões, (B) foto do conjunto carro+trilho.

O sistema de disparo mecânico (C) é constituído por uma alavanca inserida no corpo da caixa que aciona o gatilho da pistola, quando o carro passa

sobre um obstáculo (O) fixado na canaleta de madeira. A alavanca é feita de metal rígido dobrado na forma de um “z reto”, preso pela parte superior, conforme mostra o detalhe da Fig. 3. Ao passar pelo obstáculo a alavanca tem sua extremidade inferior levemente levantada e a outra extremidade superior é então abaixada “apertando” o gatilho como pode ser visto na Fig. 7.

O obstáculo é uma pequena barra de metal, com uma saliência em seu centro. A altura deste obstáculo (0,4cm) foi projetada de forma a deslocar a alavanca, sem atrapalhar o movimento do carro. Este obstáculo, mostrado na Fig. 6, foi posicionado no trilho num ponto onde o carro passa com velocidade constante.

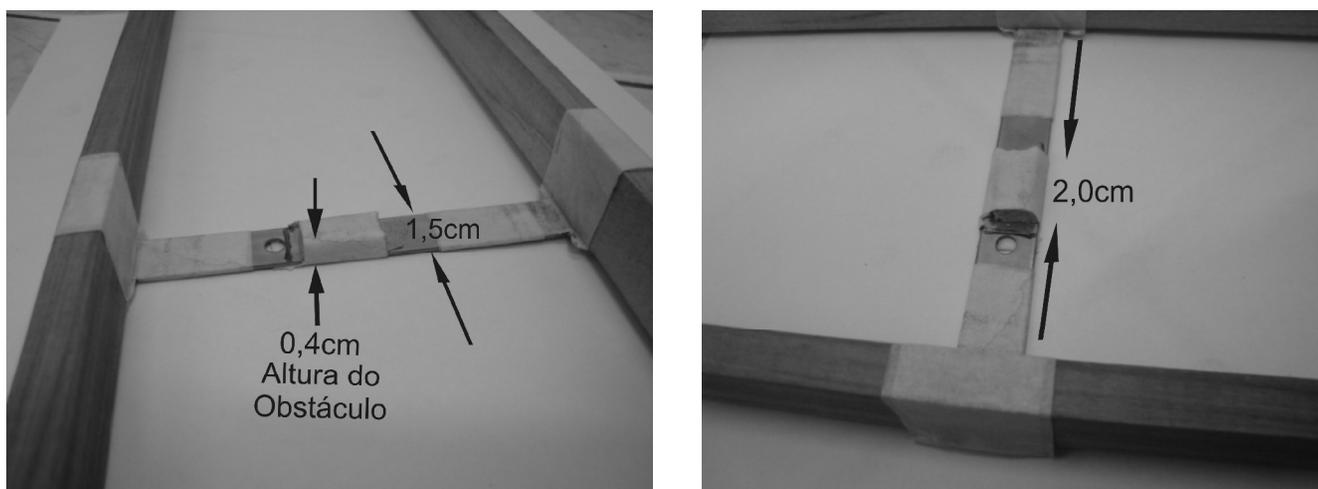


Fig. 6 – Detalhe do obstáculo fixado no trilho.

Para garantir o lançamento do projétil na vertical, foi introduzido um ajuste fino (G), controlado através de dois parafusos, de forma a ajustar a posição do cano da pistola bem perpendicular ao plano do deslocamento. Um dos parafusos controla o ajuste lateral e o outro o vertical. O ajuste fino, e o sistema de disparo mecânico estão ilustrados na Fig. 7.

Nos testes preliminares do conjunto verificou-se que mesmo com o ajuste fino, o impacto da mola no lançamento do projétil desviava sua trajetória do plano formado pelo vetor velocidade de lançamento e o de deslocamento do carro, desvio este que não permitia a captura do projétil pelo funil. A porcentagem de recuperação do projétil era inferior a 50%. A solução encontrada foi montar um tubo de cartolina (E) entre a pistola e o funil (mostrado na Fig. 4), com diâmetro pouco maior que a bolinha, com a função de direcionar e estabilizar a trajetória da bolinha. Com essas medidas, a taxa de captura do projétil está em torno de 90%.

Um túnel feito de cartolina ou papelão pode ser usado para aumentar a expectativa acerca do experimento e ilustrar de maneira mais atraente o

princípio da independência dos movimentos. Enquanto o carro atravessa o túnel, o projétil descreve sua trajetória por fora e acima deste.

As medidas do túnel usado foram: 46 cm de altura, 25 cm de comprimento e 11,5 cm de largura. O túnel foi fixado 17 cm à frente do obstáculo que aciona o gatilho. Um esquema simplificado desse túnel pode ser visto na Fig. 8.

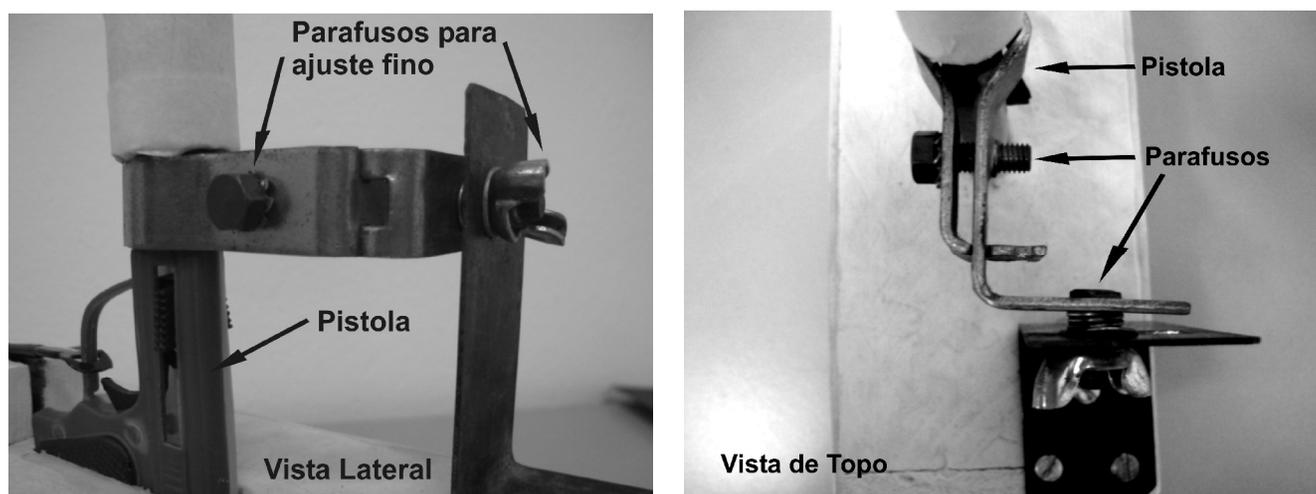
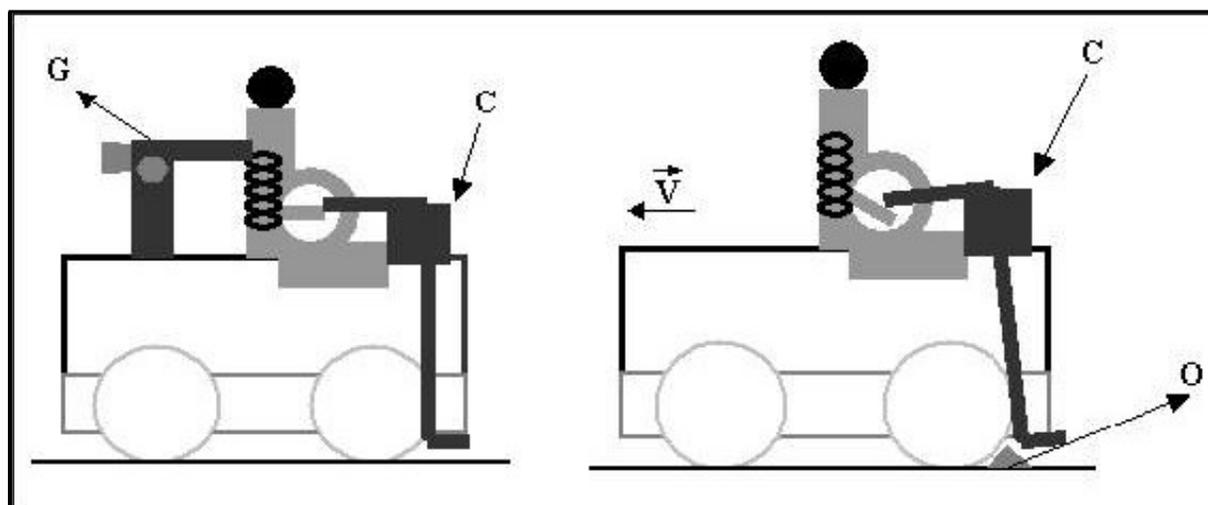


Fig. 7 – Sistema de ajuste fino e de disparo.

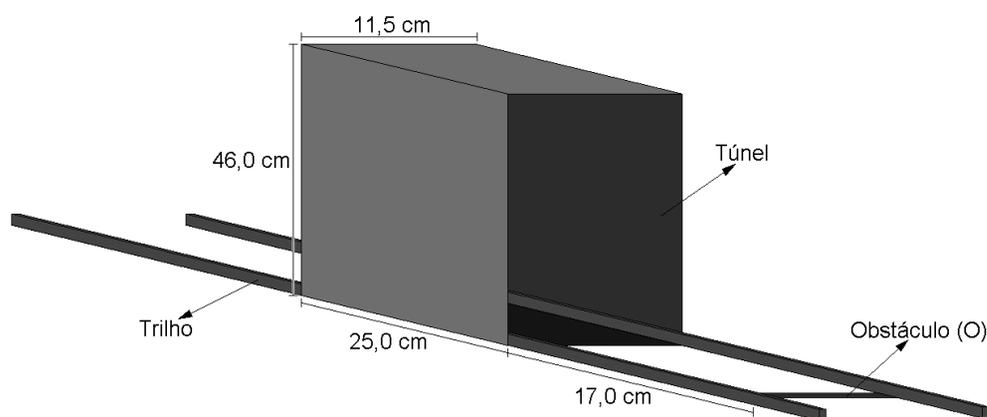


Fig. 8 – Posição do túnel e suas dimensões.

As dimensões do túnel dependem da altura do funil e da velocidade do carro. Túneis muito longos e carros muito lentos podem comprometer a captura do projétil. Também a sua localização depende da velocidade do carro e do posicionamento do disparador do gatilho no trilho. Sem considerar efeitos dinâmicos e a resistência do ar, é possível equacionar o movimento do projétil e do carro de forma a projetar de maneira mais precisa as dimensões e a localização do túnel. Para estes cálculos é preciso conhecer a velocidade inicial com que o projétil é lançado. Ela vai depender do impacto que o projétil recebe da mola na pistola e por sua vez a constante elástica da mola varia para cada tipo de pistola. Como o objetivo do trabalho é apresentar um equipamento para ser **ilustrativo** do princípio de independência dos movimentos, a escolha das dimensões do túnel e sua localização foram executadas de maneira empírica.

IV. Conclusão

Para uma média de 20 lançamentos consecutivos, o índice de 90% de captura do projétil indica que este equipamento de custo muito baixo pode ser útil nas aulas de Cinemática. O índice de acertos em testes com o trem de Galileu Clássico (Fig. 1), pertencente à Experimentoteca do projeto Eureka Show da Física (UNESP, 2005), é de 60%.

O carro de Galileu aparece, portanto, como uma alternativa ao trem de Galileu, e pode ser utilizado para despertar o interesse dos alunos pelas aulas de Cinemática, principalmente no Ensino Médio. Nestas aulas os fenômenos físicos atraentes ficam geralmente escondidos atrás das equações matemáticas.

Este equipamento é de fácil manuseio e transporte. A montagem experimental pode ser feita no piso da sala de aula. Com ele, o estudo da trajetória de projéteis desperta a curiosidade e resgata a participação do aluno na aula de Cinemática.

O professor, dependendo do nível da classe, pode tratar outros conceitos relacionados com a trajetória de projéteis tais como: adição de vetores, repouso e movimento, tempo de trânsito, alcance, movimento de mísseis balísticos intercontinentais e restrições ao princípio da independência dos movimentos. Pode explorar também os aspectos lúdicos deste experimento. Enfim, haja imaginação...

Agradecimento

Os autores agradecem ao Prof. Dr. René A. M. Alfaro, do Depto de Física - IGCE – Rio Claro, pelas correções e sugestões.

Referências:

USP – UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – Estação Ciência. **Transformação de energia – Mecânica – Trenzinho**. Disponível em:

<http://www.eciencia.usp.br/exposicao/transformacao_energia/default.html>

Acesso em: 07 nov. 2005.

UNESP – UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Departamento de Física – **Projeto Eureka – Experimentoteca** – Rio Claro. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/eureka/>> Acesso em: 08 nov. 2005.

UNB – Universidade de Brasília – Instituto de Física – Prolegômenos Físicos – Trenzinho – Brasília – DF. Disponível em:

<<http://tritium.fis.unb.br/gefis/exper/prolego/index.html>> Acesso em: 08 nov. 2005.

GALILEI, G. **Da força de percussão. Duas novas ciências**. Tradução: Letizio Mariconda e Pablo R. Mariconda. 2. ed. São Paulo: Nova Stella, 1988. 315 p.

GASPAR, A. **Física – Mecânica**. São Paulo: Ática, 2000. v. 1. 384 p.

ALONSO, M.; FINN, E. J. **Física: um curso universitário**. Tradução: Giorgio Moscati. São Paulo: Edgard Blücher, 1972. 481 p.