

NOVAS APLICAÇÕES PARA O MARCADOR DE TEMPO DO PSSC

Roberto Hessel

UNESP - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Campus de Rio Claro

Descreve-se uma montagem com o marcador de tempo usado no PSSC, que permite ampliar consideravelmente suas aplicações. São também descritas duas experiências utilizando a nova montagem e outras são sugeridas.

1. INTRODUÇÃO

O marcador de tempo utilizado no PSSC (1) é basicamente uma campainha elétrica que funciona com uma ou mais pilhas de lanterna e cujo martelinho vibrador bate sobre um disco de carbono e uma fita de papel, que deve correr continuamente sob o carbono. Os marcadores de tempo do tipo PSSC são fabricados no Brasil pela Fundação para o Desenvolvimento do Ensino da Ciência (FUNBEC) e o modelo que utilizamos, construído em 1969, vibra numa frequência entre 50 e 60 hertz, de modo que em cada segundo ficam registrados 50 a 60 marcas na fita que corre através dele.

O PSSC (Partes I e III) e o FAI (2) descrevem uma série de experimentos que podem ser realizados com esse tipo de marcador. Nestes projetos o marcador é usado, principalmente, da seguinte forma: a fita, passando através dele, é arrastada pelo objeto cujo movimento se pretende estudar e os espaçamentos entre os pontos registrados são analisados em seguida. Este procedimento, entretanto, só pode ser empregado quando se estuda o movimento de objetos sobre os quais é possível prender a fita, ou seja, objetos que podem arrastar a fita ao se movimentarem.

O objetivo deste trabalho é mostrar como o marcador de tempo pode ser utilizado para estudar o movimento de objetos sobre os quais não se pode prender a fita (tais como objetos que rolam) e descrever, a título de exemplo, duas experiências que foram realizadas utilizando a montagem sugerida.

2. DESCRIÇÃO DA MONTAGEM

Suponha que pretendamos medir o tempo que uma esfera gasta para ir de um ponto A a outro B, enquanto rola sobre uma superfície plana e horizontal. De que maneira poderemos fazer essa medida, se quisermos usar o marcador de tempo já mencionado? Há pelo menos duas soluções:

1ª) Liga-se o marcador, manual ou automaticamente, quando a esfera passar pelo ponto A e desliga-se quando ela passar pelo ponto B, enquanto alguém puxa a fita através dele. Assim, se forem registrados n tiques (marcas) na fita, o intervalo de tempo medido será de $n-1$ tiques.

2ª) Procura-se, de alguma maneira, fazer com que o marcador associe às passagens da esfera pelos pontos A e B, marcas mais escuras na fita. Neste caso a fita terá o aspecto da figura 1, onde as duas marcas escuras representam as passagens da esfera pelos pontos A e B.

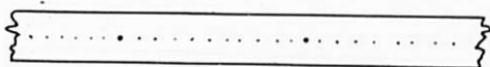


Fig. 1

Neste trabalho vamos nos deter na segunda solução. Fazendo esta escolha, a pergunta que devemos responder agora é: Como conseguir algumas marcas (tiques) mais escuras na fita? O esquema da figura 2 responde a esta questão.

Por meio da resistência (R) variável podemos ajustar a tensão aplicada no marcador de modo a obter marcas mais claras (fracas) ou mais escuras (fortes). Ajustemos, então, R de modo a obter marcas bem fracas, mas fortes o suficiente para serem percebidas. Quando a esfera passar sobre o papel de alumínio as duas lâminas ficarão em contato e a chave será fechada. Como consequência a resistência variável ficará em curto e a tensão no marcador aumentará instantaneamente. Se o intervalo de tempo durante o qual a esfera permanecer sobre a chave for apropriado, aparecerão uma ou algumas marcas mais escuras do que outras. Se, por exemplo, a fita obtida tiver o aspecto da figura 3, o tempo decorrido para a esfera ir de A para B será de 6 tiques.

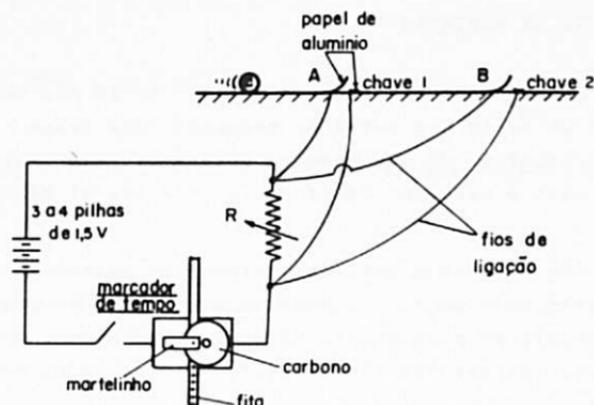


Fig.2 - A fita deverá ser puxada através do marcador ligado, enquanto a esfera vai de A para B. A resistência R é um pedaço de fio de níquel-cromo nº 36.

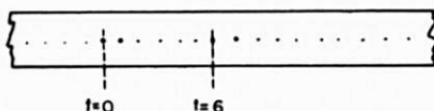


Fig.3 - $\Delta t = 6$ tiques

As chaves deverão ser projetadas de acordo com a experiência a ser realizada. Nas experiências que vamos descrever utilizamos dois modelos: uma chave fixa de papel de alumínio e uma chave móvel de encosto.

Chave fixa de papel de alumínio

Neste modelo, as lâminas de papel de alumínio e as extremidades dos fios que chegam a elas são fixadas na superfície desejada com fita adesiva, como mostra a figura 4.

A largura l (fig.4) dependerá da velocidade do corpo que passar sobre a chave; ela será escolhida de modo que apareça pelo me-

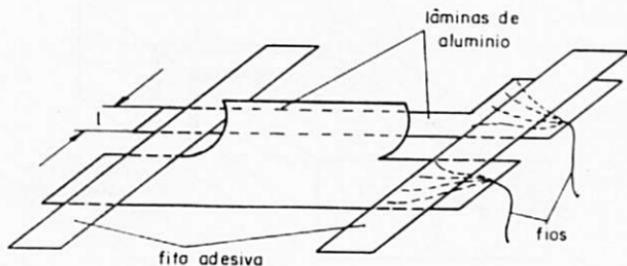


Fig.4 - Chave fixa construída com papel de alumínio.

nos uma marca mais escura do que as outras na fita (nas nossas experiências essa medida variou de 0,5 cm a 1,5 cm e o corpo mais rápido que passou sobre a chave tinha uma velocidade da ordem de 3 m/s (= 6 cm/tique). Uma chave deste modelo dificilmente poderá ser utilizada novamente, depois que tiver sido desmontada (é uma chave descartável).

Chave móvel de encosto

Suponha que uma esfera, partindo do repouso de um ponto A, role num plano inclinado. Como faremos para medir o tempo que ela gasta para ir do ponto A a um outro ponto B, também do plano inclinado? Para uma medida deste tipo é preciso que o tempo comece a ser contado a partir do instante em que o movimento se iniciar e, se a medida for repetida várias vezes, será preciso garantir, também, que a esfera parta sempre da mesma posição. A fig. 5 mostra um modelo de chave que satisfaz a essas exigências. Para resolver o problema proposto, uma chave desse modelo será fixada no ponto A por meio de um grampo de carpinteiro, por exemplo, enquanto uma chave feita com papel de alumínio será fixada no ponto B.

A figura 6 mostra como aparecerão as marcas na fita, neste caso.

Convém lembrar, nesta altura, que as chaves só funcionarão adequadamente se os contatos estiverem bem limpos; é preciso que as lâminas de alumínio estejam livres de gordura (1º modelo) ou que as pontas desencapadas do fio de cobre não estejam oxidadas (2º modelo). A esfera metálica também deverá estar livre de gordura.

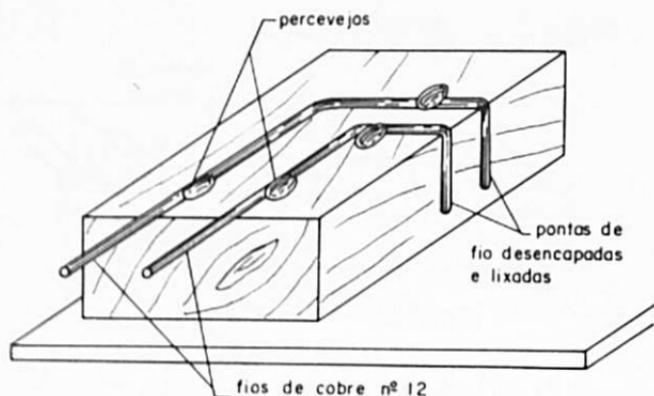


Fig.5 - Chave móvel de encosto. Ela permanecerá ligada enquanto uma esfera metálica estiver encostada nas pontas desencapadas do fio de cobre. No instante em que o movimento se iniciar, a chave será aberta e o tempo começará a ser contado.

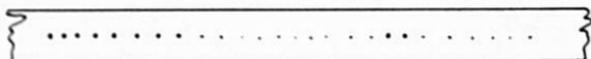


Fig.6 - O conjunto de marcas escuras à esquerda corresponde ao tempo em que a esfera metálica permaneceu em contato com as pontas desencapadas do fio de cobre.

3. RESULTADOS QUANTITATIVOS

3.1 - Movimento de uma esfera sobre um plano inclinado

Nesta experiência medimos o tempo (t) que uma esfera gasta para descer um plano inclinado, rolando sobre o mesmo e partindo do repouso de A. Medimos também o tempo (t') que ela gasta para ir de um ponto B a um outro C, ambos sobre um plano horizontal (fig.7), para podermos determinar a velocidade instantânea da esfera na base do plano inclinado (para economizar uma chave, devemos tomar o ponto B na

base do plano inclinado). Em A utilizamos uma chave móvel de encosto e, em B e C, chaves fixas, construídas com papel de alumínio (ver detalhes da construção do plano inclinado no apêndice 1).

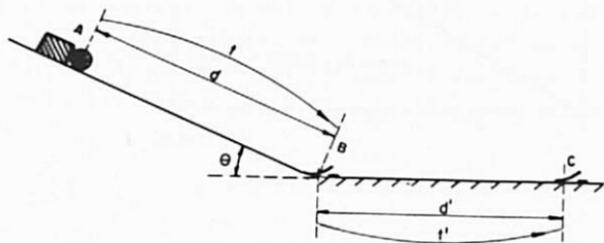


Fig. 7

A figura 8 mostra o aspecto de uma fita, correspondente a uma das corridas da esfera.

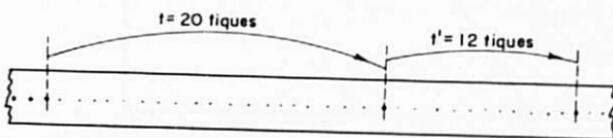


Fig. 8

Foram tomados dados com $\theta = 15^\circ$, $d' = 30$ cm e fixando-se a chave móvel de encosto em 9 posições distintas, sobre o plano inclinado.

Os resultados estão apresentados nos gráficos das figuras 9 e 10, que revelam a dependência entre a velocidade (v) e o tempo (t), a distância (d) e o tempo (t), respectivamente.

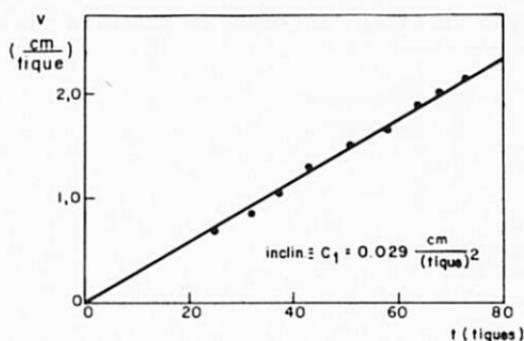


Fig.9 - Dependência entre v e t .

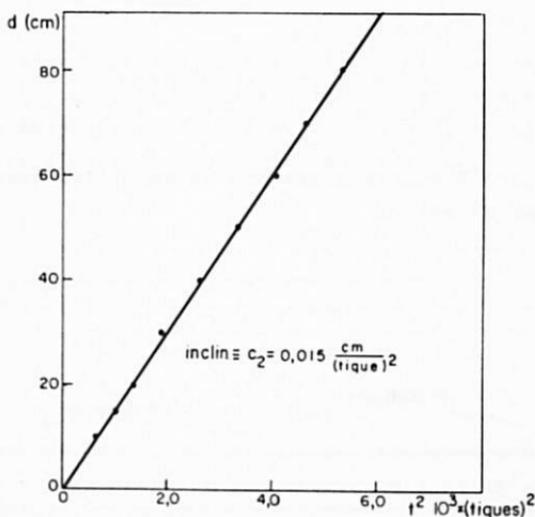


Fig.10 - Dependência entre d e t .

A análise destes gráficos nos indica que as relações entre v e t e d e t são do tipo: $v = C_1 t$, $d = C_2 t^2$, como já era esperado. Os valores das constantes são $C_1 = 0,029 \text{ cm}/(\text{tique})^2$ e $C_2 = 0,015 \text{ cm}/(\text{tique})^2$, sendo C_1 praticamente o dobro de C_2 , como também era esperado.

Podemos também calcular a área sob o gráfico $v \times t$ para um intervalo de tempo que corresponde à distância percorrida pela esfera neste intervalo. Tomando-se o intervalo de 0 a 73 tiques, obtêm-se a área de 78 cm . Comparando-se com o valor lido diretamente, temos um desvio de 2,5%.

3.2 - Relação entre as velocidades de uma esfera e de um anel, rolando sobre um plano inclinado

A velocidade, na base de um plano inclinado, do centro de massa de uma esfera que desce o plano rolando e que parte do repouso de uma altura h , é dada por $\sqrt{10/7 gh}$ e a velocidade de um anel, que tenha partido da mesma posição, é dada por \sqrt{gh} (3). A relação entre essas velocidades é, então, $v/v' = \sqrt{10/7}$, onde v é a velocidade da esfera e v' a velocidade do anel. Esta relação pode ser verificada facilmente com a montagem descrita, utilizando-se duas chaves construídas com papel de alumínio e fixadas no plano horizontal (fig.11).

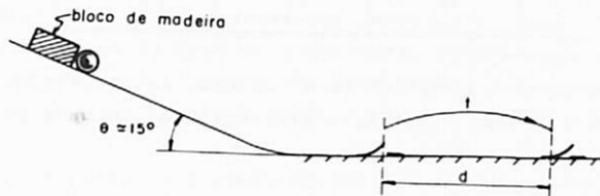


Fig.11 - A distância entre as chaves é de cerca de 30 cm. (Ver detalhes da construção do plano no apêndice 2).

A relação entre as velocidades será dada por

$$\frac{v}{v'} = \frac{d/t}{d/t'} = \frac{t'}{t}$$

Embora as velocidades da esfera e do anel, na base do plano inclinado, não dependam do raio, é importante, quando pretendemos estabelecer a relação entre elas, que escolhamos uma esfera e um anel com raios iguais, pois assim garantiremos que o centro de massa da esfera e do anel percorrerão a mesma distância h , na direção vertical, quando ambos partirem de uma mesma posição. Para assegurar que tanto a esfera quanto o anel partem da mesma posição, utilizamos um bloco de madeira, fixo no plano, para servir de encosto, como mostra a figura 11.

Os dados da tabela 2 foram obtidos abandonando-se uma esfera e um anel, ambos de aço e com diâmetros aproximadamente iguais a 25 mm, de várias posições no plano inclinado.

Posições	t (tique)	t' (tique)	v/v'=t'/t
1	32	40	1,25
2	28	33	1,18
3	24	29	1,21
4	21	26	1,24
5	19	23	1,21
6	18	22	1,22
7	18	21	1,17
8	17	20	1,18
9	15	18	1,20
10	14	17	1,21

O valor médio dos valores contidos na 4ª coluna, igual a 1,207, é aproximadamente igual a $\sqrt{10/7} = 1,195$; a diferença porcentual, no caso, é de 1%.

Nota: O procedimento que adotamos nesta experiência não é único, evidentemente. Poderemos, por exemplo, escolher algumas posições arbitrárias sobre o plano inclinado, das quais soltaremos a esfera e o anel e, para cada posição de lançamento, variar algumas vezes o espaçamento entre as chaves no plano horizontal.

4. OUTROS EXEMPLOS

Além dos dois exemplos apresentados a montagem sugerida permite realizar outras experiências, tais como: queda livre, medida de frequência de vibração de uma lâmina de aço, medida da ordem de grandeza da duração de uma colisão lenta, estudo do movimento de uma esfera em superfícies curvas, variação da aceleração de uma esfera com o ângulo de inclinação de um plano, etc. Sugerimos ao leitor projetar chaves adequadas para algumas destas experiências.

5. CONCLUSÕES

A montagem proposta neste trabalho amplia consideravelmente o número de experiências que podem ser realizadas com o marcador de tempo do PSSC e permite realizar, com razoável precisão, experiências importantes, tais como as duas descritas aqui, que são sempre citadas

nos cursos de Física Geral, mas que dificilmente são dadas como prática de laboratório, devido às dificuldades materiais, na maioria das vezes.

Considerando-se ainda que o marcador de tempo do PSSC é um dispositivo relativamente barato ou fácil de ser construído e que muitas instituições, quer de 2º quer de 3º grau, já dispõem dele em quantidade, acreditamos ter trazido aos professores interessados em laboratório, mais algumas opções na escolha de seus experimentos.

A idéia da montagem descrita neste artigo nasceu como resultado de uma dificuldade. Estávamos dando um curso de Física na cidade de Marília (SP) e pretendíamos realizar uma das experiências que foi descrita aqui como exemplo, mas não dispúnhamos de nenhum cronômetro com o qual pudéssemos realizá-la. Entretanto, como dispúnhamos de marcadores de tempo do PSSC em quantidade, começamos a pensar na possibilidade de eles virem resolver o problema da falta de cronômetro; foi assim, então, que surgiu a idéia desta montagem.

A pesquisa começou em Marília e foi concluída em Rio Claro (SP) e, no decorrer dela, muitos modelos de chaves e planos inclinados, idealizados pelo autor ou sugeridos por outras pessoas dispostas a colaborar, foram testados. Os planos inclinados que vamos descrever nos apêndices 1 e 2 e a chave construída com papel alumínio, que foi sugerida por um professor de Ciências de Marília (Ir. Hermínio, do Col. Cristo Rei), foram os modelos que mais aprovaram, seja pela facilidade de construção, seja pelo custo reduzido ou seja pela qualidade dos resultados obtidos.

Observações

- 1ª) Para se obter bons resultados com a montagem sugerida é preciso que os contatos do marcador de tempo estejam limpos e que seus discos de carbono sejam novos. É essencial, também, que os discos girem enquanto a fita está sendo puxada através do marcador; isto será conseguido com mais facilidade se você utilizar discos de carbono com diâmetro maior do que o usualmente empregado.

Se tiver que trocar o disco de carbono durante a realização da experiência, procure fazê-lo sem deslocar o bloco de madeira sobre o qual o disco é fixado, pois isto poderá alterar a frequência de vibração do marcador (se usar discos de grande diâmetro esta tarefa será facilitada).

- 2^a) Esferas novas de aço são relativamente caras, mas você poderá con seguir esferas usadas num ferro-velho, a um preço muito reduzido ou mesmo de graça; basta escolher alguns rolamentos usados e pedir para que sejam abertos com maçarico. No conjunto de esferas assim obtido sempre haverá algumas em ótimo estado (em nossas experiências usamos esferas com diâmetros variando de 10 a 27 mm).
- 3^a) A condição para que não haja deslizamento, enquanto a esfera rola sobre o plano inclinado, é dada por $\text{tg}\theta \leq 7/2 k$, onde k é o coefi ciente de atrito entre a esfera e a superfície (4). No caso de uma esfera de aço e de uma superfície metálica pode-se tomar $k = 0,14$ (4). Embora não tenhamos medido k para o caso de uma esfera de aço e uma superfície de Duratex, nos parece razoável fazer k da ordem de 0,1. Se assim fizermos, devemos ter, para não haver deslizamento, $\text{tg}\theta \leq 7,2 \times 0,1 = 0,35$ ou $\theta \leq 19^\circ$. Como escolhemos $\theta = 15^\circ$ esperamos que não tenha havido deslizamento.

APÊNDICE I

Os planos utilizados nas duas experiências descritas aqui podem ser construídos da seguinte forma:

- i) material utilizado: tira de Duratex (ou similar), liso e duro, de 5 mm de espessura, 8 cm de largura.
- ii) na face não lisa é feito um sulco de 3 cm de largura e com uma profundidade de 3 a 3,5 mm.

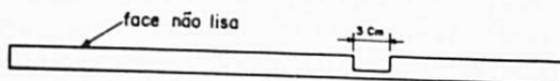


Fig. 12

- iii) a tira assim preparada é pregada em dois sarrafos grossos (25 mm de espessura) e planos.

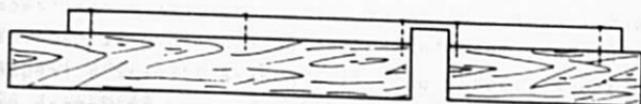


Fig. 13

- iv) Prendendo um dos lados sobre uma mesa nivelada, com o outro pode-se obter a inclinação desejada (nos testes, conseguimos inclinar o plano até cerca de 25° sem que a parte afinada da chapa se rompesse).

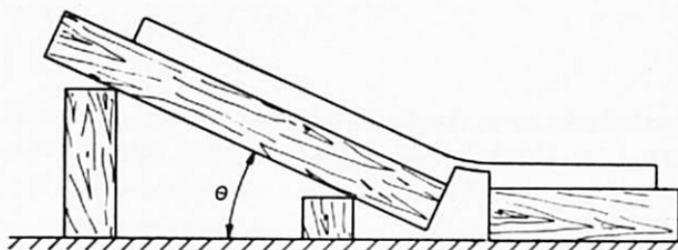


Fig. 14

Com esta montagem conseguimos fazer com que a esfera (ou anel) passasse do plano inclinado para o plano horizontal praticamente sem saltar, pois o segmento curvo de 3 cm de comprimento, que une os dois planos, permitiu que a inclinação do plano, na sua base, variasse suavemente de θ° até 0° . Se você nivelar com cuidado a sua montagem, pode estar certo que a esfera percorrerá toda a trajetória sem fugir da chapa de Duratex.

APENDICE 2

Na 2^a experiência a ligação curva entre os planos pode ser bem mais longa, pois, para obter a relação entre as velocidades da esfera e do anel, não é preciso que sigam uma trajetória retilínea. Neste caso podemos usar uma chapa de Duratex mais fina e dispensar os sulcos, o que torna um pouco mais simples a construção do plano.

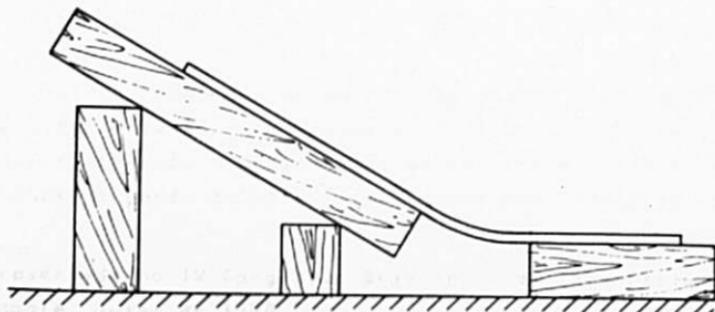


Fig. 15

O autor agradece aos colegas que o ajudaram nos diversos estágios da pesquisa e, em particular, ao prof. Fernando D. Prado pela leitura do manuscrito e prof. Antônio J. Bucalon pela ajuda prestada na confecção dos desenhos.

BIBLIOGRAFIA

1. PSSC - Physical Science Study Committee. 3^a ed. São Paulo, EDART, 1968, parte I, p.217-219 e 1^a ed. São Paulo, EDART, 1967, parte III, p. 162-164 e 184-186.
2. FAI - Física Auto Instrutivo. 3^a ed. São Paulo, Saraiva, 1973, vol. 1, p.155-159.
3. ALONSO, Marcelo e FINN, E.J.. Física: um curso universitário. Coordenador da tradução: MOSCATI, Giorgio. São Paulo, Edgard Blucher, 1972, vol. 1, p.297-298.
4. BRUHAT, G. Cours de Physique Générale. 5^a ed. Paris, Masson et Cie, 1955, Mécanique, p.175-177.