

## UM APARELHO PARA ESTUDO DA QUEDA LIVRE

F. Pompignac, N.M. Costa Pinto e S. Loureiro  
Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia\*

### RESUMO

É descrito um aparelho para estudo da queda livre de uma esfera de aço. Ele consiste de um perfil vertical de madeira onde são instalados um eletro-ímã e um anteparo. O aparelho é acoplado com um marcador de tempo que é disparado e estancado automaticamente pela esfera.

O princípio de funcionamento do marcador de tempo baseia-se na alternância da corrente elétrica da rede de alimentação (60Hz) e no registro por eletrodos arrastados sobre papel filtro embebido em solução eletrolítica.

O aparelho foi testado e vem sendo normalmente empregado no laboratório didático de Física Geral e Experimental II (Mecânica) do Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia com excelentes resultados na determinação da lei do movimento e do valor da aceleração da gravidade.

### ABSTRACT

In this paper we describe an apparatus for the study of the free fall of a steel sphere. It consists of a wooden prop which holds a electromagnet and a rampart. The device is coupled to a timer which is automatically started and stopped by the sphere.

The timer functioning is based on alternation of the network electric current (60Hz) and on recording by electrodes dragged on a paper soaked in electrolyte.

The apparatus was checked and is being normally employed in the Student Lab of Elementary Physics (branch of Mechanics) of Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia with excellent results on determination of the law of motion and the value of gravity acceleration.

\* Endereço: Rua Caetano Moura, 123 - Federação  
40000 - Salvador, Bahia.

## 1 - Introdução

Há alguns anos que o Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia vem se ressentindo da incômoda situação de oferecer um curso de Física Geral e Experimental II (Mecânica) puramente teórico, isto é, aulas expositivas e de problemas. Esta situação é decorrente de uma série de dificuldades, comuns à maioria das universidades brasileiras, sendo a principal delas a falta de verbas.

Visando superar este mal, antes que ele se torne crônico pelo aumento constante da clientela de alunos, resolvemos aceitar o desafio de montar e fazer funcionar um laboratório didático de bom nível com pouco, pouquíssimo dinheiro. Esta colocação, à primeira vista, soa irrealística e utópica, já que a concretização de tal objetivo pressupõe um milagre.

Na verdade, nossa intenção ao planejarmos o laboratório da disciplina Física Geral e Experimental II foi concentrar nossos esforços em cima de idéias simples, material corriqueiro (madeira, alumínio, esferas de rolamento, etc.), adaptações e aproveitamento de sua cota.

Assim é que surgiu o aparelho para estudo da Queda Livre, discutido nesse artigo. É um aparelho muito simples, de baixo custo de fabricação, que dispensa oficinas especializadas, e que proporciona excelentes resultados não só na medida da aceleração da gravidade, como no próprio estudo do movimento uniformemente acelerado.

Em si, o aparelho não é uma concepção totalmente original, desde quando ele se utiliza do eletro-ímã como dispositivo de acionamento do corpo de queda, mecanismo usado em quase todos os aparelhos similares fornecidos pelas fábricas de equipamentos didático-científicos.

## 2 - O Aparelho

O aparelho, mostrado na figura 1, constitui-se de um perfil de madeira no qual estão instalados os seguintes elementos: eletro-ímã E, anteparo A, escala métrica e uma lâmpada L.

O eletro-ímã mantém uma esfera de aço de 12,8mm de diâmetro, que ao desprender-se dispara um marcador de tempo. No instante em que ela choca-se com o anteparo, este, funcionando como uma chave, interrompe a marcação de tempo. Logo, o tempo registrado pelo marcador corresponde ao tempo de queda.

O perfil de madeira mede 2.20m de altura e é formado por um barrote maciço de 5,5 x 4,0cm assentando numa serreta de 9,0cm de lar

gura por 1,5cm de espessura. Na face anterior do barrote é assentada uma longarina de alumínio (tipo cremalheira para prateleiras de 2,0 x 1,0cm) com fendas no formato de buraco de fechadura, espaçadas de 3,5cm, para possibilitar a variação da altura do anteparo.

A figura 2 mostra os detalhes do anteparo e do eletro-ítmã: o eletro-ítmã nada mais é do que o antigo marcador de tempo do PSSC (fabricado pela FUNBEC) despojado do vibrador e seu contato superior, peças, que, como veremos, serão reaproveitadas na confecção do anteparo. Sobre o eletro-ítmã são estendidos dois fios de cobre, com diâmetro de 2,6mm, medindo 5cm de comprimento. Estes fios funcionam como contatos da chave (que designaremos como chave C) que momentaneamente fica em curto quando a esfera está encostada neles, presa pelo eletro-ítmã. A alimentação do eletro-ítmã é feita através de uma fonte c.c. de 4 a 6 volts, e pode ser cortada por uma chave de telefone simples. Esta chave será designada de chave K.

O anteparo é um pequeno bloco maciço de madeira de 11,5cm de altura, 5,5cm de largura e 3,5cm de espessura, terminado por uma plaqueta em compensado (3,5cm), de 6,8cm de comprimento por 5,4cm de largura, em balanço, com uma fenda central. Sobre ela é assentado o contato superior, retirado do marcador de tempo. O vibrador, colado (com Araldite ou similar) a uma plaqueta de fôrmica de 8,0 x 5,5cm, com duas orelhas salientes de 1cm, é articulado na face anterior do bloco por um suporte de chapa de alumínio. Com o auxílio de duas borachas de dinheiro, distendidas entre as orelhas e dois pregos colocados nas faces laterais do bloco a uma altura de 2,3cm do compensado, o anteparo funciona como chave que interrompe a marcação do tempo quando a esfera com ele choca-se. Na face posterior do bloco são colocados 2 parafusos espaçados de forma a se encaixarem perfeitamente nas fendas da longarina.

A lâmpada de 15 watts colocada na face lateral do barrote, tem dupla finalidade: servir de piloto durante o experimento e limitar a corrente no circuito do marcador de tempo.

### 3 - O Marcador de Tempo

A marcação do tempo de queda baseia-se fundamentalmente na alternância da corrente elétrica da rede de alimentação (60Hz) e no registro por eletrodos arrastados sobre papel filtro embebido em solução eletrolítica<sup>1</sup>.

O marcador de tempo é constituído de um "garfo" com duas pontas de metal (Fe), separadas por 25mm, que é deslocado sobre o papel filtro embebido na solução. Ele é ligado à rede elétrica em sé-

rie com a lâmpada. Como a corrente é alternada, cada ponta fica alternadamente positiva e negativa. A ponta de polaridade positiva, em contato com o papel produz um traço por reação química. Portanto, ao correremos o "garfo" sobre o papel, conseguimos um traço a cada 1/60 segundo.

A cor e a conservação dos traços deixados pelas pontas no papel dependem da solução eletrolítica que é utilizada. H. Gondet<sup>1</sup> sugere três possibilidades:

1. sulfato neutro de sódio, fenolftaleína e glicerina, deixando a ponta positiva um traço vermelho;
2. iodeto de potássio, nitrato de amônia e glicerina, deixando um traço marrom;
3. ferrocianeto de potássio 5g, nitrato de amônia 100g, glicerina 10g e água 10g, deixando um traço azul da Prússia.

Particularmente a solução por nós usada foi a primeira, nas proporções: sulfato neutro de sódio 10g, fenolftaleína 4ml; água 100ml e 4 a 5 gotas de glicerina. A fenolftaleína é preparada a 1%, sendo 60ml de álcool e 40ml de água para cada grama. O tempo de conservação do traço deixado com esta solução é de 1,5 minutos aproximadamente. Este tempo constitui-se numa desvantagem, desde que o registro apaga-se. Contudo, tem-se a compensação de o mesmo papel ser utilizado para várias medidas. Vale ressaltar que este tempo é suficiente para se proceder a contagem dos traços correspondentes aos tempos envolvidos nas quedas de até 2,20m de altura.

A terceira solução tem a vantagem de conservar o registro depois de lavado o papel. Contudo, apresenta o inconveniente de ser o nitrato de amônia de difícil aquisição, em face à necessidade de autorização de compra pelo Exército.

#### 4 - Funcionamento do Aparelho Acoplado ao Marcador de Tempo

A figura 3 mostra o esquema do circuito do marcador de tempo acoplado ao aparelho.

A função da chave C, citada anteriormente, é disparar o marcador de tempo no exato momento em que a esfera começa a cair. Portanto, é a esfera de aço quem a aciona, já que ela permanece fechada enquanto aquela se mantém presa ao eletro-ímã.

A chave A está associada ao anteparo e é acionada por ele através do choque com a esfera. Ela permanece fechada enquanto o anteparo estiver na posição horizontal. A sua função é parar a marca-

ção do tempo no exato momento em que a esfera aí chegar.

Logo, se a chave A e a C estiverem fechadas, isto é, se o anteparo estiver na posição horizontal e a esfera estiver presa ao eletro-ímã, a lâmpada permanece acesa e não haverá d.d.p. nas pontas do garfo. Portanto, este não marca ao ser arrastado sobre o papel.

Quando a alimentação do eletro-ímã é cortada através da chave K a esfera se desprende. Consequentemente a chave C é aberta e o garfo fica ligado diretamente à rede, aparecendo portanto, a d.d.p. nas suas pontas. Assim, ao se abrir a chave K o garfo já deve estar sendo arrastado sobre o papel, para que o tempo de queda comece a ser registrado. No instante em que a esfera choca-se com o anteparo a chave A abre-se interrompendo o circuito; logo o garfo deixa de marcar.

Então a marcação obtida no papel, na forma mostrada na figura 4, expressa o tempo de queda que é obtido pela contagem do número de traços deixados por uma das pontas multiplicado por 1/60 segundo.

A figura 5 mostra detalhadamente o diagrama da montagem do aparelho acoplado com o marcador de tempo.

A tábua onde estão instalados a chave K e o garfo é feita em compensado (25mm) recoberto com fôrmica e tem como finalidade receber o papel filtro embebido na solução. Esta disposição permite que uma só pessoa, simultaneamente, corra o garfo e acione a chave.

Foram utilizados fios de cores diferentes para fácil identificação dos ramos do circuito. O tipo de fio empregado foi o cabinho nº 20 ou 22.

## 5 - Resultados

A figura 6 mostra o gráfico  $\log h$  versus  $\log t$  das medidas obtidas com o aparelho, que fornece um coeficiente angular 2 e o valor de  $9,8\text{m/s}^2$  para a aceleração da gravidade.

A precisão na medida do tempo é de  $1/120\text{s}$ , desde quando as pontas do garfo marcam alternadamente a cada  $1/60$  segundo.

Na medida da altura a precisão vai depender da escala usada e da eliminação dos erros grosseiros cometidos na leitura. Aí reside a maior fonte de erro do experimento já que a esfera e o anteparo encontram-se a uma certa distância da escala.

## 6 - Inconvenientes

A utilização deste aparelho de Queda Livre no Laboratório didático apresenta três inconvenientes que não chegam a comprometer a

sua performance.

O primeiro deles é a necessidade de manipular produtos químicos, em vista da solução eletrolítica. Quando ela contém substância volátil torna-se necessário uma nova solução decorridas 36 horas do preparo.

Em seguida temos o risco de choque na manipulação do garfo. Embora ele seja pequeno e não se tenha constatado reclamações neste sentido, é imprescindível que o garfo seja bem isolado e confeccionado de tal forma a ser perfeitamente acomodado dentro da mão.

Por fim, faz-se necessário que o experimento seja programado para duas sessões de 2 horas cada, sendo a primeira destinada ao entendimento e familiarização do equipamento.

### *7 - Considerações Finais*

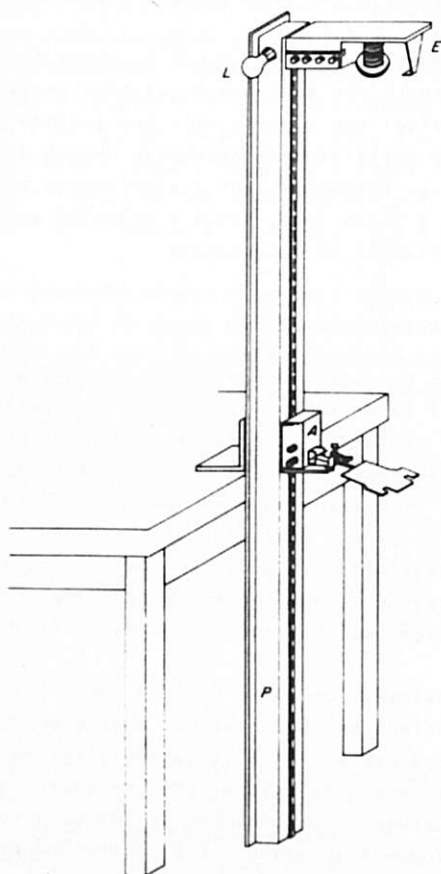
Este aparelho vem sendo usado há dois semestres no laboratório de Física Geral e Experimental II do Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia com excelentes resultados não só no que diz respeito ao aproveitamento como à própria motivação do aluno. É importante ainda que ressaltemos que o experimento de Queda Livre é o que mais desperta interesse dentre os oferecidos.

Por fim, gostaríamos ainda de apresentar algumas idéias relacionadas com modificações ou adaptações do aparelho, modificação do experimento e utilização do princípio do marcador de tempo em outras experiências.

O modelo atualmente em uso é apoiado numa mesa através de uma chapa de ferro dobrada em L presa por dois grampos de carpinteiro. Em vez disto, podemos afixar a longarina diretamente na parede ou utilizar uma haste comum de laboratório, na qual o anteparo corre seguro a uma não ajustável. Os contatos do anteparo podem ser feitos com platinado de automóvel já usado. E o eletro-ímã pode ser feito de bobina de campainha de telefone ou pode ser substituído por um ímã permanente deslizável dentro de uma canela com o auxílio de um bastão longo.

Com bolas de vários tamanhos e de material leve (por exemplo bola de ping-pong) contornadas com um cinturão de aço o aparelho pode ser empregado no estudo da influência da viscosidade do ar na queda.

O marcador de tempo pode ser adaptado a outros experimentos. Por exemplo no estudo do movimento sobre trilhos lineares com baixo atrito, ou mesmo na determinação da velocidade de lançamento no experimento com lançamento horizontal.



**Figura 1** - Aparelho para estudo da queda livre ; A anteparo , E eletro-ímã , L lâmpada piloto , P perfil de madeira

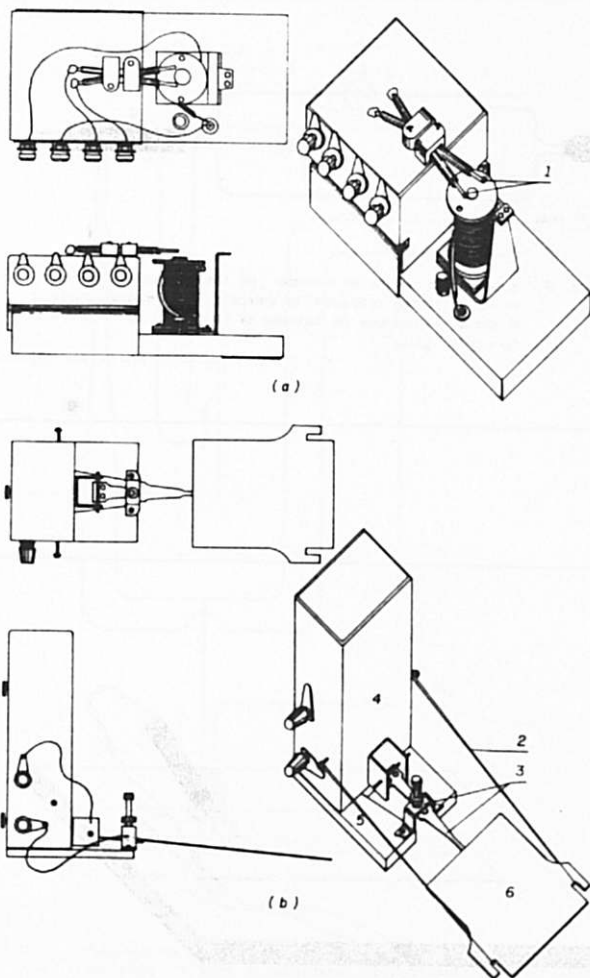


Figura 2 - Detalhes do eletro-ímã (a) e do anteparo (b); 1 contatos da chave C, 2 borracha de dinheiro, 3 contatos da chave A, 4 bloco de madeira, 5 plaqueta em compensado, 6 plaqueta em formica



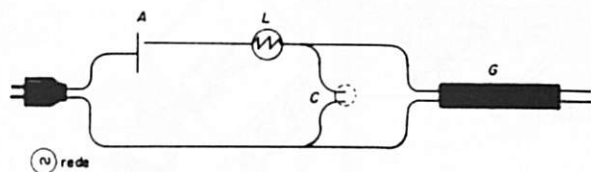


Figura 3 - Esquema do circuito do marcador de tempo acoplado ao aparelho. A chave associada ao anteparo; L lâmpada piloto; C chave disparadora do marcador de tempo em curto com a esfera; G "gato"

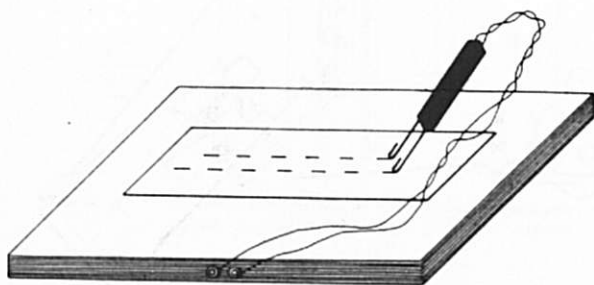


Figura 4 - Marcação do tempo sobre o papel filtro embebido na solução

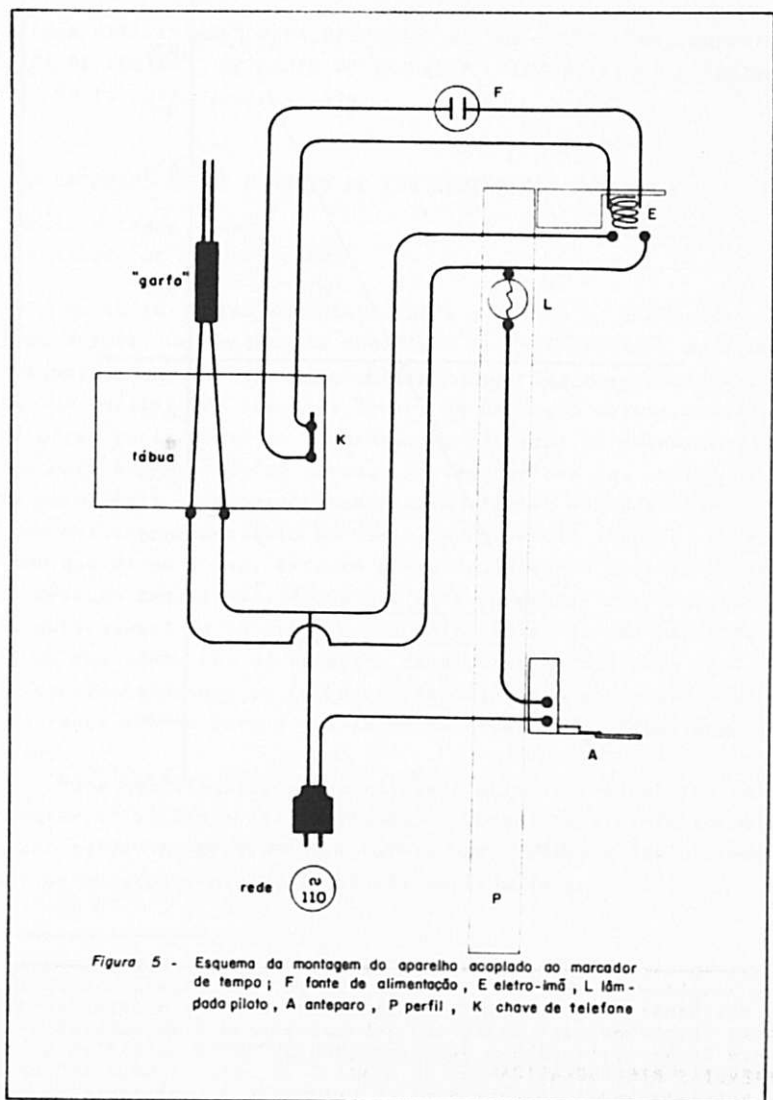


Figura 5 - Esquema da montagem do aparelho acoplado ao marcador de tempo; F fonte de alimentação, E eletro-ímã, L lâmpada piloto, A anteparo, P perfil, K chave de telefone

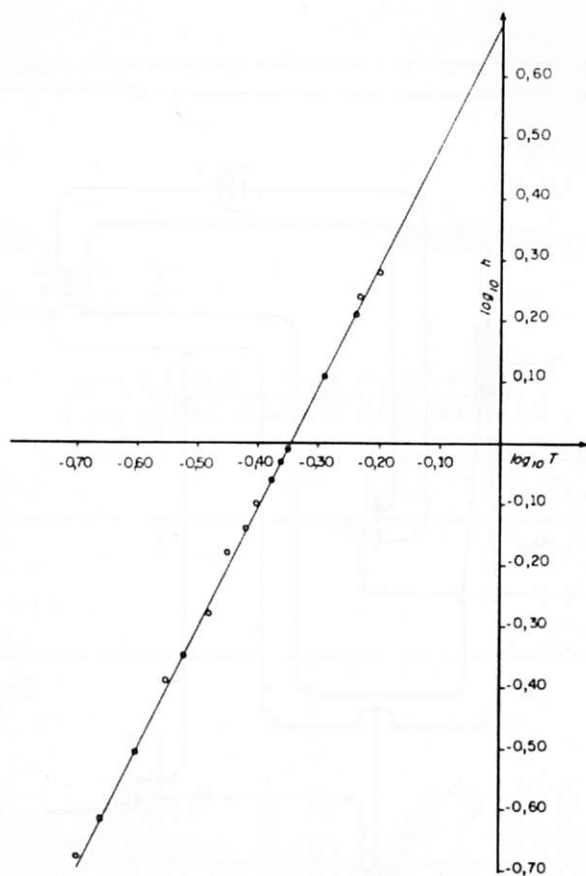


Figura 6 - Gráfico  $\log_{10} h \times \log_{10} T$ , reta dos mínimos quadrados

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - Surugue, J. - organizador - 1966 - Techniques Générales du Laboratoire de Physique. Éditions du Centre National de la Recherche Scientifique, 478.