
A Balança de Roberval e o Segredo do seu Mecanismo

The Roberval Balance and the Secret of Its Working Mechanism

Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 26, n. 3: p. 441-459, dez. 2009.

Fernando Lang da Silveira

Instituto de Física - UFRGS

lang@if.ufrgs.br

Rolando Axt

Instituto de Física - UFRGS

André Koch Torres Assis

Instituto de Física 'Gleb Wataghin' - UNICAMP

assis@ifi.unicamp.br

Resumo. São apresentadas duas explicações teóricas sobre o funcionamento de uma balança de Roberval e de uma interessante variante dessa balança.

Abstract. There are given two theoretical explanations about the working system of the Roberval balance and of an interesting variation of it.

1. Introdução

Existem duas condições que precisam ser satisfeitas para que um corpo rígido extenso fique em equilíbrio estático, ou seja, para que fique parado em relação a um referencial inercial (vamos considerar aqui a Terra ou o laboratório como sendo um bom referencial inercial). A *Primeira Condição de Equilíbrio* impõe que a força resultante exercida sobre o corpo seja nula. A *Segunda Condição de Equilíbrio* exige que o torque resultante exercido sobre ele, em relação a qualquer ponto, também seja nulo. Um corpo rígido que está livre para girar ao redor de um ponto fixo em relação ao laboratório, fica em equilíbrio *estável* quando o seu centro de gravidade se encontra verticalmente abaixo do ponto fixo. Caso o centro de gravidade se situe verticalmente acima desse ponto, o equilíbrio é *instável*.

Vamos considerar o corpo rígido como sendo o travessão da balança de braços iguais esquematizada na figura 1. Em relação ao referencial do laboratório essa balança tem um eixo fixo horizontal, ou fulcro, perpendicular ao travessão. O travessão está livre para girar sem atrito ao redor do fulcro (letra E na figura 1). Admitamos que o travessão já esteja em equilíbrio antes da adição dos dois corpos C_1 e C_2 , respectivamente com pesos \mathbf{P}_1 e \mathbf{P}_2 . De acordo com a *Segunda Condição de Equilíbrio*, para que a balança continue equilibrada, após adição dos dois corpos, é necessário que

$$P_1 \cdot d_1 = P_2 \cdot d_2, \quad (1)$$

onde d_1 e d_2 são os “braços de alavanca”¹ dos dois pesos. No caso especial em que os dois pesos têm o mesmo valor, o equilíbrio se dá quando d_1 e d_2 são iguais.

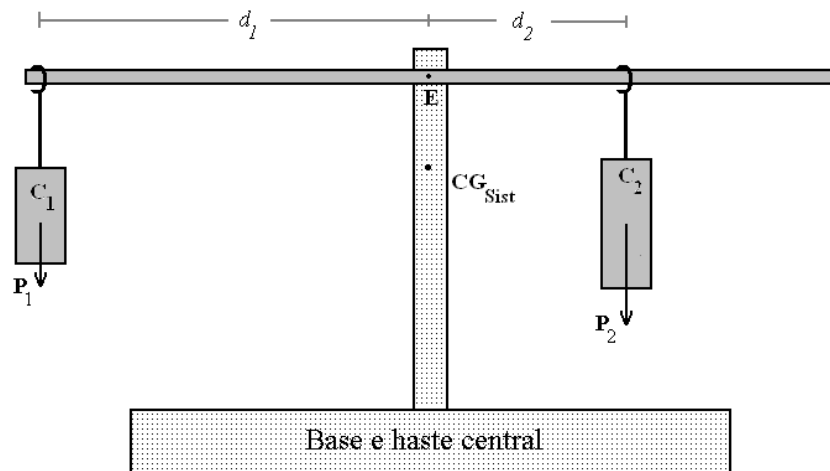


Figura 1- Esquema simplificado de uma balança.

Além disso, para que o equilíbrio da balança seja *estável*, o fulcro E tem de estar verticalmente acima do centro de gravidade (CG_{Sist}) do sistema constituído pelos dois corpos e pelo travessão.

Vejam agora um exemplo de balança de pratos que estaria em equilíbrio *instável*. Na balança esquematizada na figura 2, o fato de os pratos estarem apoiados sobre o travessão, torna o equilíbrio *instável*, pois o CG_{Sist} se encontra acima do fulcro. Adicionalmente o equilíbrio se desfaz se a condição dada pela equação (1) não estiver satisfeita, bastando para isso uma pequena alteração de posição de qualquer um dos corpos C_1 e C_2 colocados sobre os pratos. Sendo assim, seria impossível uma balança com pratos posicionados acima do travessão.

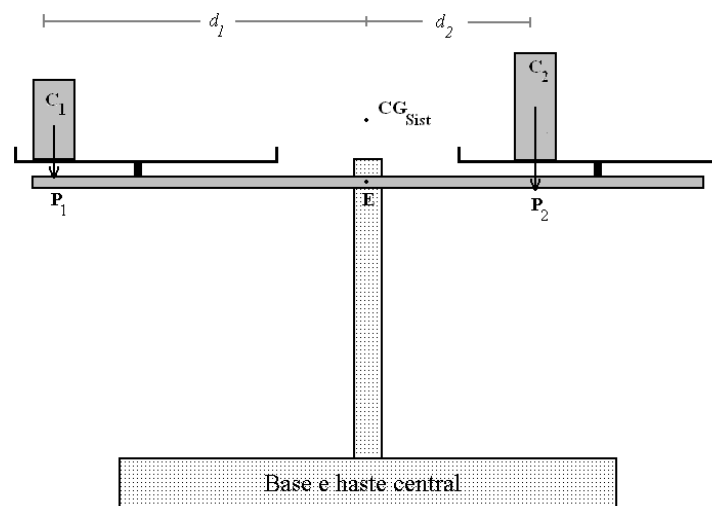


Figura 2- Uma “balança impossível”.

¹ - O “braço de alavanca” de uma força é a distância entre a reta de ação dessa força e o ponto em relação ao qual o torque ou momento da força é calculado.

Contudo a viabilização de uma balança com pratos acima do travessão foi conseguida por Gilles Personne Roberval (1602-1675). Em 21 de agosto de 1669 ele apresentou à Academia Real de Ciências da França os planos para um tipo particular de balança (Hara, 1981). Ela é conhecida hoje em dia como *balança de Roberval* e significou na época uma solução inovadora para o problema da pesagem.

A *balança de Roberval* ocupou por vários séculos um lugar de destaque como artefato destinado a pesar, mas acabou sendo definitivamente relegada ao passado com o advento da balança eletrônica (Celdrán, 1995). Mesmo assim, por causa da originalidade de seu mecanismo, será para sempre um intrigante dispositivo que parece violar a *Segunda Condição de Equilíbrio*, fato esse explorado em diversos artigos de ensino de Física (Little Stinkers, 1965a e 1965b; Scott Barr, 1984; Crane, 1991).

A seguir analisaremos o mecanismo de funcionamento dessa balança, ressaltando uma variante que chamamos de *semi-balança de Roberval*.

2. A balança de Roberval simétrica

Há duas características da *balança de Roberval simétrica* que a diferenciam das balanças com um único travessão: (a) Ela possui não apenas um, mas dois travessões, cujos fulcros estão alinhados sobre uma mesma reta vertical. (b) Dois corpos de pesos iguais equilibram a balança até quando esses corpos se encontram a distâncias diferentes dos eixos fixos da balança.

A fotografia da figura 3 mostra um modelo didático da *balança de Roberval* equilibrada por dois corpos C_1 e C_2 de mesmo peso. A balança tem seis eixos, identificados pelas letras E_i , onde i varia de 1 a 6. Os eixos E_1 e E_2 estão solidários à base de sustentação da balança. Em torno deles giram quase sem atrito dois travessões articulados com duas hastes verticais por meio de quatro eixos móveis também quase sem atrito (designados E_3 a E_6). Na figura o travessão superior está entre E_3 e E_5 , enquanto que o travessão inferior está entre E_4 e E_6 . A balança tem prolongamentos horizontais presos de cada lado das hastes verticais. Sobre esses prolongamentos podem deslizar os corpos C_1 e C_2 . Os eixos móveis E_3 a E_6 permitem que, enquanto os travessões giram ao redor dos eixos E_1 e E_2 , a estrutura móvel da balança assuma a forma de retângulo (como na figura 3) ou de paralelogramo (como na figura 9), mantendo sempre as duas hastes móveis em posição vertical.

Nota-se na figura 3 que os “braços de alavanca” d_1 e d_2 dos pesos dos corpos, tomados em relação aos eixos de rotação E_1 e E_2 , solidários à haste central da balança, são diferentes. Dessa forma, parece que a *Segunda Condição de Equilíbrio* está sendo violada, pois os momentos dos pesos (torques) de ambos os corpos, em relação aos eixos fixos, são diferentes².

² - É importante destacar que a balança se encontrava equilibrada anteriormente à adição dos dois corpos aos seus braços.

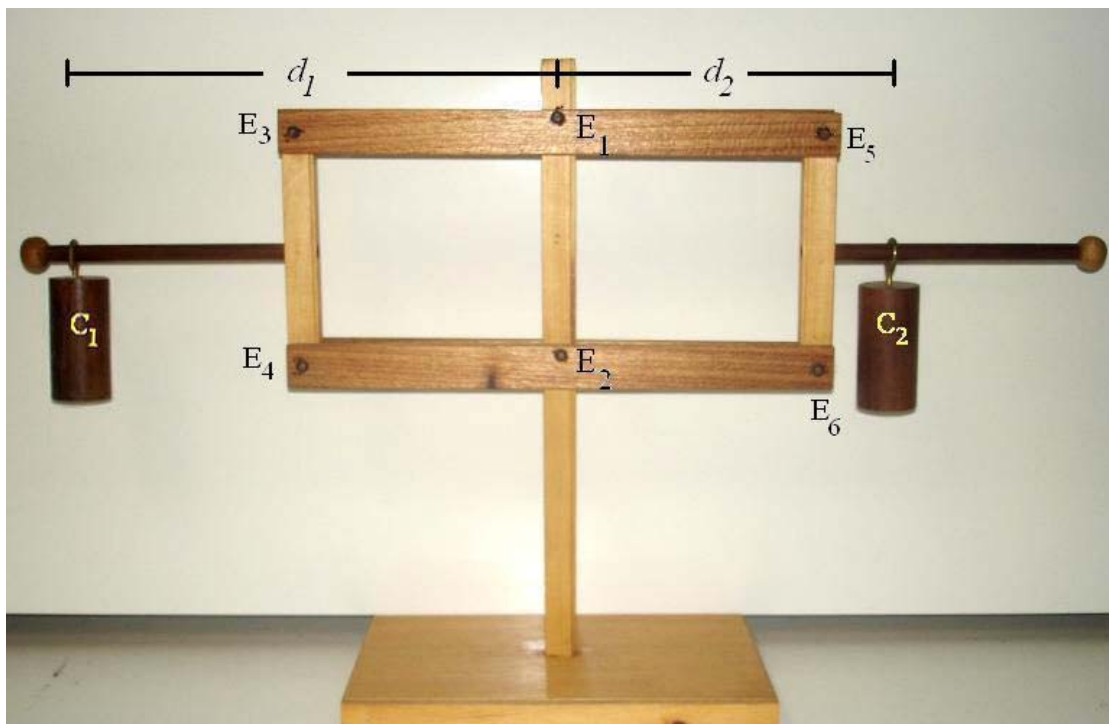


Figura 3 – Balança de Roberval simétrica equilibrando dois corpos de mesmo peso posicionados a distâncias diferentes em relação aos eixos fixos de rotação E_1 e E_2 .

Na próxima seção é feita uma discussão teórica da *balança de Roberval assimétrica*, da qual a *balança de Roberval simétrica* é um caso particular.

3. A balança de Roberval assimétrica e as condições de equilíbrio

A figura 4 representa esquematicamente uma *balança de Roberval assimétrica*. Ela é dita *assimétrica* porque as dimensões características L_1 e L_2 , que correspondem aos segmentos esquerdo e direito dos travessões, são desiguais.

Suponhamos que a balança esteja previamente equilibrada, com seus travessões em posição horizontal e assim satisfaça as condições de equilíbrio mesmo antes da adição dos corpos³ C_1 e C_2 . Então, ao se lhe acrescentarem dois corpos C_1 e C_2 , o equilíbrio da balança dependerá do preenchimento das *Condições de Equilíbrio*, tendo em conta as forças que passam a ser exercidas sobre o sistema em função da adição dos corpos.

³ - Isto não significa que estejamos desprezando os pesos dos constituintes da balança. Apenas estamos admitindo que a balança sem as cargas (corpos C_1 e C_2) esteja equilibrada, aliás, condição usualmente preenchida em balanças reais para evitar erros no processo de pesagem.

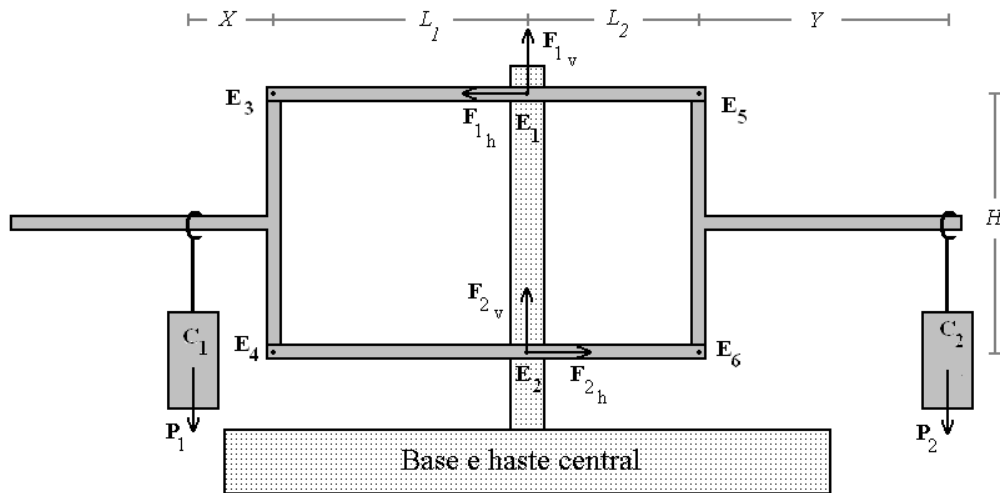


Figura 4 – Balança de Roberval assimétrica

Na figura 4 estão assinaladas as forças externas à balança que são, respectivamente, aquelas forças exercidas pelos dois eixos fixos (representadas pelas componentes horizontais - F_{1h} e F_{2h} - e verticais - F_{1v} e F_{2v}) e pelos dois pesos (P_1 e P_2). De acordo com a *Segunda Condição de Equilíbrio*, calculada em relação ao eixo E_2 , resulta

$$P_1 \cdot (X + L_1) + F_{1h} \cdot H = P_2 \cdot (Y + L_2), \quad (2)$$

na qual as letras em itálico, relativas às forças, simbolizam os módulos dessas forças.

Percebe-se em (2), e é importante salientar, que a *Segunda Condição de Equilíbrio* não pode ser expressa apenas pelos momentos dos pesos dos dois corpos, o que seria possível em balanças com apenas um eixo fixo. O torque da força horizontal F_{1h} que o eixo E_1 exerce também contribui para que a *Segunda Condição de Equilíbrio* seja satisfeita.

Para que a balança como um todo esteja em equilíbrio, cada parte dela também deve estar. Portanto, as peças laterais, com formato de um T deitado (girado de 90°), devem preencher as condições de equilíbrio. A figura 5 representa as forças externas sobre a peça lateral esquerda da balança, à qual foi adicionado o corpo C_1 .

A *Segunda Condição de Equilíbrio*, calculada em relação ao eixo E_4 , resulta em

$$F_{3h} \cdot H = P_1 \cdot X, \quad (3)$$

$$F_{3h} = P_1 \cdot \frac{X}{H}. \quad (4)$$

De maneira análoga, para a peça lateral direita, onde se encontra o corpo C_2 , obtemos, em relação ao eixo E_6 ,

$$F_{5h} = P_2 \cdot \frac{Y}{H}. \quad (5)$$

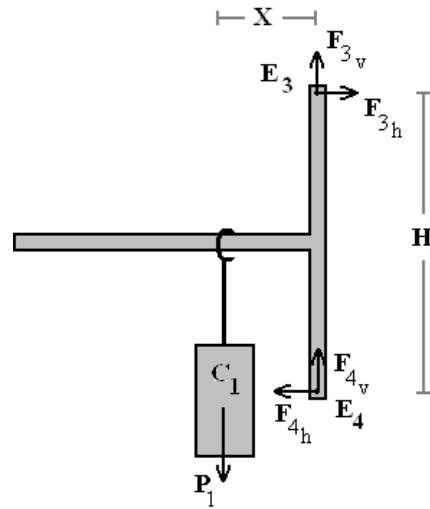


Figura 5 – Forças exercidas sobre a peça lateral esquerda da balança.

A figura 6 representa as forças horizontais exercidas sobre o travessão superior da balança.

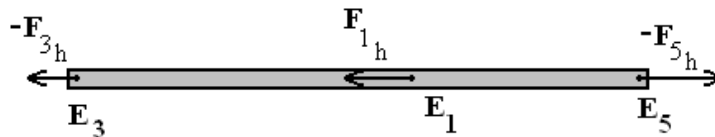


Figura 6 – Forças horizontais exercidas sobre o travessão superior da balança.

A Primeira Condição de Equilíbrio para as forças horizontais sobre o travessão superior é

$$F_{3h} + F_{1h} = F_{5h}. \quad (6)$$

A substituição de (4) e (5) em (6) fornece

$$P_1 \cdot \frac{X}{H} + F_{1h} = P_2 \cdot \frac{Y}{H}. \quad (7)$$

e, portanto,

$$F_{1h} = P_2 \cdot \frac{Y}{H} - P_1 \cdot \frac{X}{H}. \quad (8)$$

Substituindo (8) em (2) obtemos

$$P_1 \cdot (X + L_1) + \left(P_2 \cdot \frac{Y}{H} - P_1 \cdot \frac{X}{H} \right) \cdot H = P_2 \cdot (Y + L_2), \quad (9)$$

donde resulta

$$P_1 \cdot L_1 = P_2 \cdot L_2 \Rightarrow \frac{P_1}{P_2} = \frac{L_2}{L_1}. \quad (10)$$

Dessa forma, a expressão (10) demonstra que as distâncias realmente importantes para o equilíbrio da balança são as dimensões características L_1 e L_2 , sendo que as distâncias X e Y ficam excluídas como variáveis relevantes para a determinação da razão entre os dois pesos.

No caso particular $L_1 = L_2$, que corresponde à *balança de Roberval simétrica*, simplesmente chamada de *balança de Roberval*, encontra-se

$$P_1 = P_2. \quad (11)$$

O resultado (11) é consistente com o que se vê na fotografia da figura 3, ou seja, corpos com pesos iguais deixam a balança em equilíbrio, não importando onde se encontrem sobre os prolongamentos horizontais.

4. A semi-balança de Roberval

Outro interessante artefato mecânico é a *semi-balança de Roberval*, apresentada esquematicamente na figura 7. Novamente temos dois eixos fixos E_1 e E_2 presos à haste central que integra a base de sustentação. Nota-se que no lado esquerdo da haste central existe apenas a extensão do travessão superior, enquanto no lado direito se encontra a peça em forma de T, articulada ao restante do mecanismo pelos dois eixos móveis de rotação E_5 e E_6 . Demonstraremos a seguir que, para tal balança, a distância X é uma variável relevante na concretização do equilíbrio, ao passo que a distância Y não o é.

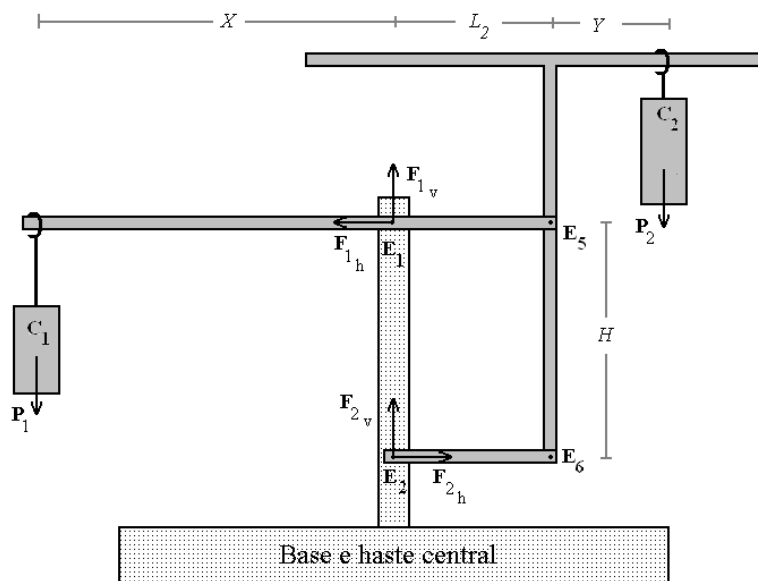


Figura 7 – A semi-balança de Roberval.

Se considerarmos que existia equilíbrio antes da adição dos corpos C_1 e C_2 à balança, o equilíbrio final dependerá do preenchimento das *Condições de Equilíbrio*, tendo em conta as forças que passam a ser exercidas nesse sistema após a adição dos corpos C_1 e C_2 .

Na figura 7 estão assinaladas as forças externas à balança, que são, respectivamente, aquelas forças exercidas pelos dois eixos fixos (representadas pelas componentes horizontais - F_{1h} e F_{2h} - e verticais - F_{1v} e F_{2v}) e os dois pesos (P_1 e P_2). A *Segunda Condição de Equilíbrio*, calculada em relação a eixo E_2 , resulta em

$$P_1 \cdot X + F_{1h} \cdot H = P_2 \cdot (Y + L_2) . \quad (12)$$

A expressão (5) continua valendo, ou seja,

$$F_{5h} = P_2 \cdot \frac{Y}{H} . \quad (13)$$

A figura 8 representa as forças horizontais exercidas sobre o travessão superior da balança.

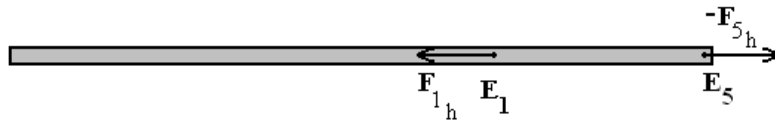


Figura 8 – Forças horizontais exercidas sobre o travessão superior da balança.

A *Primeira Condição de Equilíbrio* para as forças horizontais sobre esse travessão leva a

$$F_{1h} = F_{5h} . \quad (14)$$

Como a condição (5) continua valendo, de (14) e (5) decorre que

$$F_{1h} = P_2 \cdot \frac{Y}{H} . \quad (15)$$

Substituindo-se (15) em (12) encontra-se

$$P_1 \cdot X + P_2 \cdot \frac{Y}{H} \cdot H = P_2 \cdot (Y + L_2) , \quad (16)$$

donde resulta

$$P_1 \cdot X = P_2 \cdot L_2 \Rightarrow \frac{P_1}{P_2} = \frac{L_2}{X} . \quad (17)$$

Demonstra-se assim que, para a *semi-balança de Roberval*, a distância X que separa o corpo C_1 do eixo fixo é relevante para a determinação da razão entre os pesos

dos dois corpos, ao passo que a distância Y não afeta essa razão. Portanto, é possível com um mesmo corpo C_1 , apoiado em um bem determinado ponto $X = \left(\frac{P_2}{P_1}\right) \cdot L_2$, equilibrar a balança, independentemente da posição do corpo C_2 apoiado sobre a peça em forma de T.

5. O equilíbrio das balanças e o Princípio dos Trabalhos Virtuais

A discussão do equilíbrio das balanças nas seções anteriores foi realizada a partir da aplicação das *Condições de Equilíbrio*. Ambas envolvem relações entre grandezas vetoriais, a saber, as forças e os momentos das forças. Entretanto qualquer sistema em equilíbrio cumpre o *Princípio dos Trabalhos Virtuais*⁴ que afirma:

O trabalho virtual total, realizado em um sistema em equilíbrio, devido a deslocamentos virtuais, é sempre nulo.

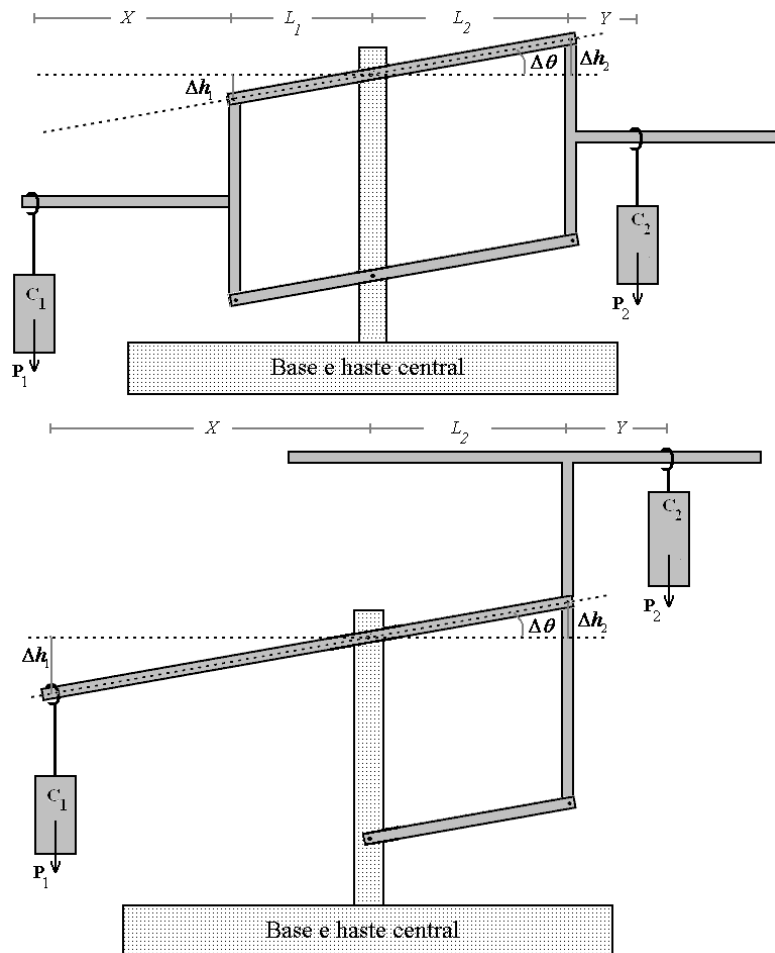


Figura 9 – Balanças deslocadas da posição de equilíbrio.

⁴ - Lagrange (1811), no início de seu livro *Mécanique Analytique* (página 22) apresenta como um princípio (ou axioma) o enunciado que hoje conhecemos como o *Princípio dos Trabalhos Virtuais*. Destaca também que tal princípio recebeu importantes contribuições no século XIII de Jordanus de Nemore embora já possa ser encontrada no século III a. C. em Arquimedes.

A figura 9 representa um *deslocamento angular virtual* $\Delta\theta$ das balanças em torno dos eixos fixos à haste central. Com base nesse deslocamento calcularemos os *trabalhos virtuais*.

O *trabalho virtual total* para ambas as balanças terá apenas dois termos, pois as forças externas às balanças, exercidas pelos respectivos eixos fixos, não realizam trabalho. Portanto o *Princípio dos Trabalhos Virtuais* assume a seguinte expressão:

$$\sum W = W_{P_1} + W_{P_2} = 0 \quad (18)$$

onde os trabalhos dos pesos são, respectivamente,

$$W_{P_1} = P_1 \cdot \Delta h_1 \text{ e} \quad (19)$$

$$W_{P_2} = -P_2 \cdot \Delta h_2 \text{ .} \quad (20)$$

Substituindo-se (19) e (20) em (18) encontra-se

$$P_1 \cdot \Delta h_1 + (-P_2 \cdot \Delta h_2) = 0 \quad (21)$$

$$P_1 \cdot \Delta h_1 = P_2 \cdot \Delta h_2 \text{ .} \quad (22)$$

Os *deslocamentos virtuais lineares* na *balança de Roberval assimétrica* são dados por

$$\Delta h_1 = L_1 \cdot \Delta\theta \text{ e} \quad (23)$$

$$\Delta h_2 = L_2 \cdot \Delta\theta \text{ .} \quad (24)$$

Substituindo-se (23) e (24) em (22) obtém-se

$$P_1 \cdot L_1 \cdot \Delta\theta = P_2 \cdot L_2 \cdot \Delta\theta \text{ ,} \quad (25)$$

donde resulta

$$P_1 \cdot L_1 = P_2 \cdot L_2 \Rightarrow \frac{P_1}{P_2} = \frac{L_2}{L_1} \text{ .} \quad (26)$$

Analogamente, os *deslocamentos virtuais lineares* na *semi-balança de Roberval* são dados por

$$\Delta h_1 = X \cdot \Delta\theta \text{ e} \quad (27)$$

$$\Delta h_2 = L_2 \cdot \Delta\theta \text{ .} \quad (28)$$

Substituindo-se (27) e (28) em (22) obtém-se

$$P_1 \cdot X \cdot \Delta\theta = P_2 \cdot L_2 \cdot \Delta\theta \quad , \quad (29)$$

donde resulta

$$P_1 \cdot X = P_2 \cdot L_2 \quad \Rightarrow \quad \frac{P_1}{P_2} = \frac{L_2}{X} \quad . \quad (30)$$

Os resultados obtidos em (26) e (30) são idênticos aos obtidos em (10) e (17). Comparemos esses resultados observando, ao mesmo tempo, a figura 9. A equação (26) mostra que o quociente L_1 por L_2 não se altera em função do *deslocamento angular virtual* $\Delta\theta$ e que, além disso, esse quociente é igual à razão P_1 por P_2 entre os pesos. Nem X nem Y são relevantes para estabelecer essa relação entre os pesos. Portanto, numa *balança de Roberval simétrica* ($L_1 = L_2$), como são as balanças comerciais, o peso do corpo colocado em um prato é igual ao peso do corpo colocado no outro prato e, lembrando que nem X nem Y são relevantes, não importa o local do prato em que os corpos são colocados para se obter o equilíbrio.

Já a equação (30) nos mostra que, para a *semi-balança de Roberval*, o valor da distância X é relevante e que, portanto, o equilíbrio só se dá com o corpo C_1 posicionado em um determinado ponto do travessão superior dessa balança.

Nota-se na figura 9 que, quando as balanças são deslocadas em torno dos seus eixos fixos de rotação, todos os pontos de cada uma das hastes verticais móveis e, em consequência, das peças em forma de T, sofrem o mesmo *deslocamento linear*. Portanto, o *deslocamento linear* de um corpo solidário a essa parte do mecanismo é sempre o mesmo, independentemente de onde o corpo se encontre posicionado. Como os *trabalhos virtuais* dos pesos dependem dos *deslocamentos lineares*, esses trabalhos são invariantes frente a mudanças de posição dos corpos apoiados nas peças em forma de T. Ou seja, a invariância das condições de equilíbrio frente a mudanças de posição dos corpos apoiados nas peças em forma de T é decorrência da *translação pura* (sem rotação) dessa parte do mecanismo idealizado por Roberval.

6. Comportamento inusitado

Demonstramos nas seções anteriores que, estando a *semi-balança de Roberval* equilibrada, uma mudança de posição do corpo na haste superior da peça em forma de T não afeta o equilíbrio. Esse interessante resultado torna-se ainda mais surpreendente quando os dois corpos são equilibrados do mesmo lado da haste vertical central da balança. A figura 10 mostra uma *semi-balança de Roberval* em três situações: (a) na foto 1 a balança encontra-se equilibrada sem cargas; (b) na foto 2 ela está equilibrada, mas com dois corpos suspensos nela, um em cada lado dos eixos fixos à base de sustentação; (c) na foto 3 a balança continua equilibrada com os mesmos dois corpos, ambos à direita dos eixos fixos à base de sustentação.

À primeira vista, o equilíbrio da *semi-balança de Roberval* na foto 3 da figura 10 parece impossível. Há pessoas (inclusive físicos!) que atribuem o inusitado comportamento ao atrito nos eixos. A pergunta que a gente se formula nesta situação é: Dado que as forças de atrito são desprezíveis, como pode a balança estar equilibrada com os dois pesos produzindo torques no mesmo sentido? É que o torque que os pesos

produzem em relação a um dado eixo fixo é contrabalançado pelo torque de uma força horizontal que necessariamente o outro eixo fixo exerce na balança. Dessa forma, a *Segunda Condição de Equilíbrio* não está sendo violada.

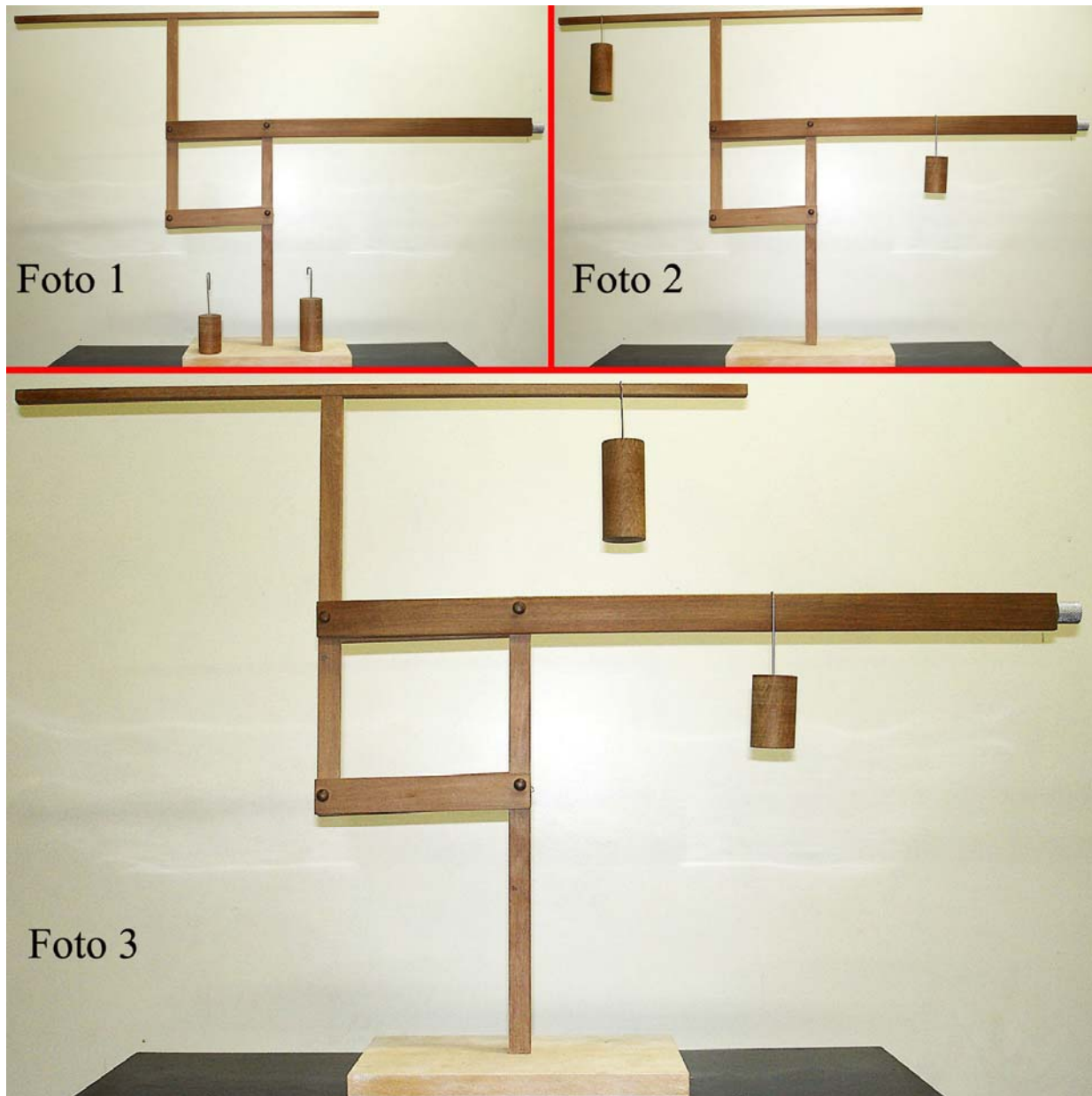


Figura 10 – Comportamento inusitado para a semi-balança de Roberval.

A figura 11 representa a balança na situação mostrada na foto 3. Estão indicadas as forças externas exercidas pelos eixos fixos. Se, por exemplo, considerarmos o eixo E_1 como referência para calcular os torques, os dois pesos determinam torques com sentido horário, enquanto a força horizontal F_{2h} no eixo E_2 tem um torque com sentido anti-horário. Os três torques somados satisfazem a *Segunda Condição de Equilíbrio*.

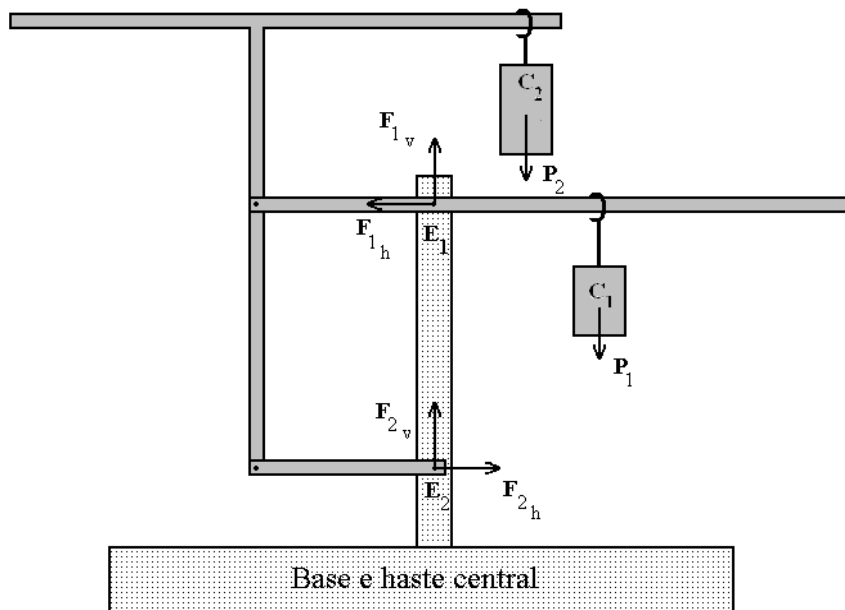


Figura 11 – Torques das forças exercidas pelos eixos anulam os torques dos pesos.

7. Utilização das balanças de Roberval

A *balança de Roberval* é uma solução genial para o problema da pesagem de corpos no caso de os pratos sobre as quais se apóiam esses corpos ficarem acima da haste central de sustentação da balança. Ela foi muito utilizada em estabelecimentos comerciais até bem pouco tempo atrás. A figura 12 representa esquematicamente uma dessas balanças, mostrando no prato esquerdo os “pesos-padrão” e, no prato direito, o corpo a ser pesado. O mecanismo da balança usualmente fica oculto em uma caixa que lhe serve de base. Esse mecanismo permite equilibrar a balança independentemente de onde o corpo a ser aferido e os “pesos-padrão” se encontrem sobre os respectivos pratos.

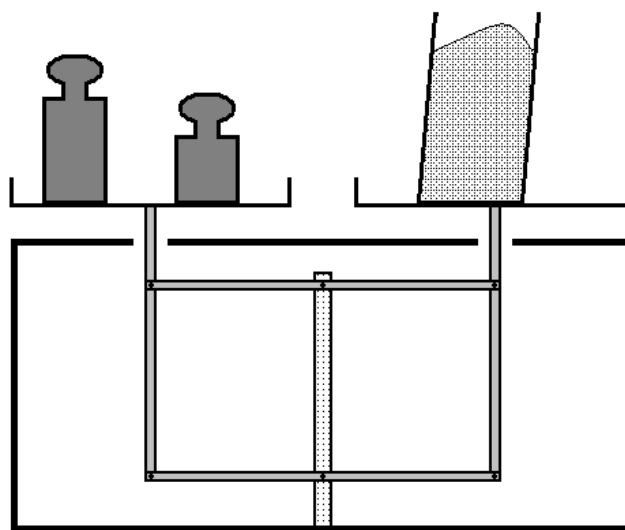


Figura 12 – Representação esquemática de uma balança de Roberval comercial.

Uma balança que na atualidade ainda está presente em laboratórios didáticos é a que se vê na fotografia da figura 13. Nas partes visíveis da balança encontram-se, à esquerda, o prato e, à direita, três trilhos graduados sobre os quais deslizam três corpos com massas diversas.

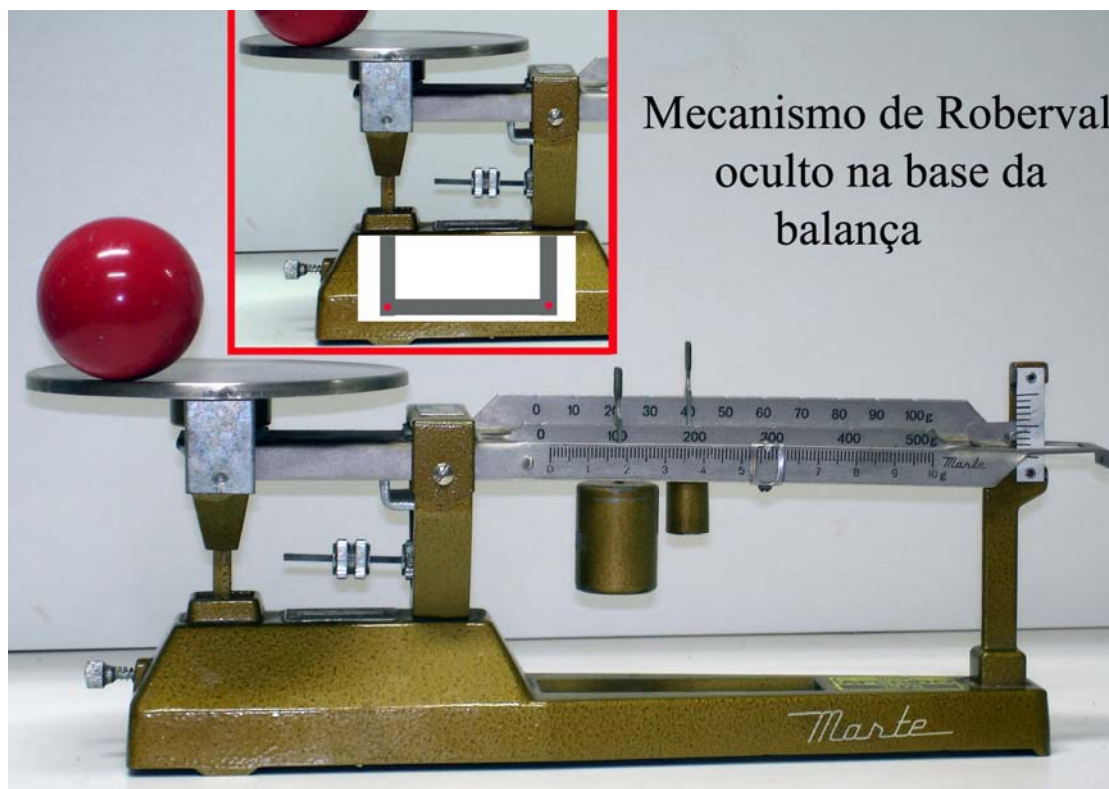


Figura 13 – Balança utilizada em laboratórios didáticos. Leitura: 145, 7 g.

As posições dos três corpos sobre os trilhos, quando a balança está equilibrada, permitem aferir a massa do corpo colocado sobre o prato com precisão de décimo de grama. A posição do corpo sobre o prato não afeta a leitura da balança. Na verdade esse aparelho é uma *semi-balança de Roberval*, com o mecanismo de Roberval oculto na base abaixo do prato. A fotografia da figura 13 mostra uma dessas balanças, podendo-se observar, no detalhe da figura menor, na parte superior, o esquema do mecanismo de Roberval.

A *balança postal* é outro tipo de artefato que incorpora o mecanismo de Roberval para tornar a posição do corpo sobre o prato irrelevante na aferição do peso. A figura 14 mostra uma dessas antigas balanças com capacidade para aferir uma massa de até 500 g com precisão de 5 g. Abaixo do prato, ligado à haste central, distingue-se o mecanismo de Roberval.

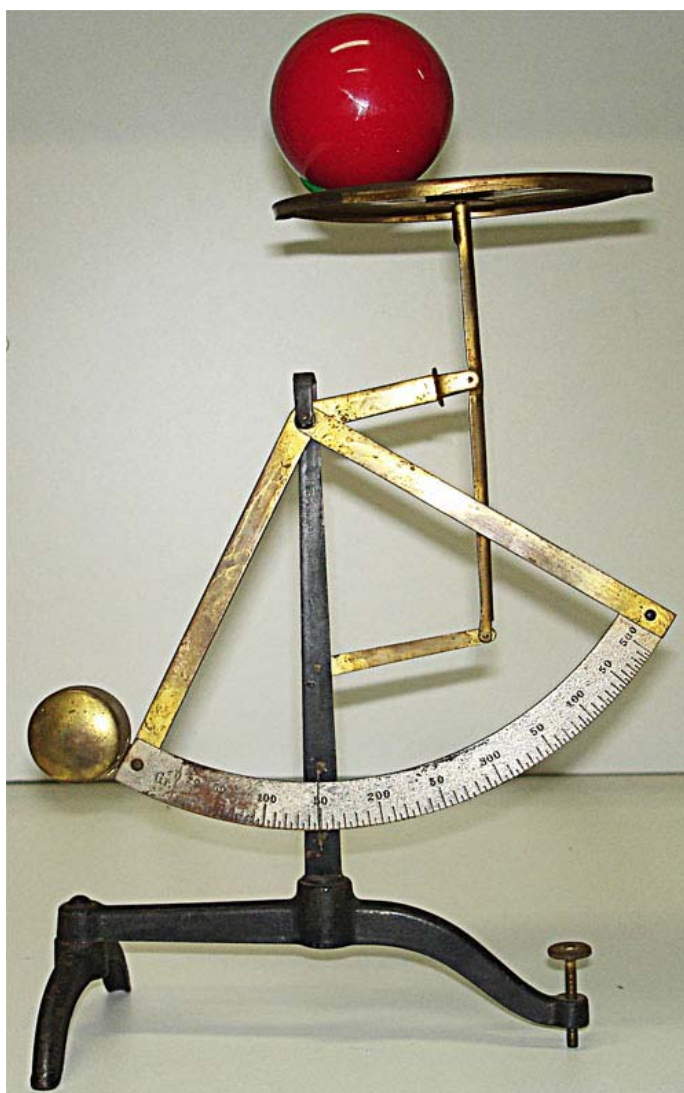


Figura 14 – A balança postal incorpora o mecanismo de Roberval para servir de apoio ao prato de pesagem. Leitura: 150 g.

8. Conclusão

O estudo das *balanças de Roberval* é um excelente exercício de *Estática dos Sólidos*, podendo ser desenvolvido a partir das *Doas Condições de Equilíbrio*. O *Princípio dos Trabalhos Virtuais*, ignorada em muitos textos de *Estática*, é extremamente vantajosa para se tratar de corpos rígidos interligados. Abordar as balanças por essa lei, além de economizar cálculos, permite uma melhor compreensão do genial mecanismo proposto por Roberval em 1669.

Entender teoricamente a *balança de Roberval* nos auxilia a compreender o funcionamento de outras balanças que empregam parcialmente o seu mecanismo. Além disso, a *balança de Roberval* é um exemplo de um delineamento técnico bem concebido, de um artefato que, em sua época, introduziu uma inovação em práticas de pesagem consagradas durante milênios. Os comportamentos inusitados das *balanças de*

Roberval continuam aguçando nossa curiosidade e surpreendem até mesmo físicos experientes.

Agradecimento. Agradecemos a Renato Divam S. de Souza o apoio técnico na confecção da balanças.

Bibliografia

CELDRÁN, P. *Historia de las cosas*. Espanha: Ediciones del Prado, 1995.

CRANE, H. R. Three intuition teasers. *The Physics Teacher*, 29(9): p. 593-594, 1991.

HARA, K. “Roberval, Gilles Personne”. In C. C. Gillispie (editor), *Dictionary of Scientific Biography*, Vol. 11, págs. 486-491 (Charles Scribner’s Sons, New York, 1981).

LAGRANGE, J. L. *Mécanique Analytique*. Paris: Courcier, 1811.
<http://books.google.com/books?id=Q8MKAAAAYAAJ&oe=UTF-8> (acessado em 18/06/09)

Little Stinkers. *The Physics Teacher*, 4(1): p. 39, 1965a.

Little Stinkers. *The Physics Teacher*, 4(3): p. 136-137, 1965b.

SCOTT BARR, E. Letters. *The Physics Teacher*, 22(2): p. 121, 1984.