

---

# EXPERIMENTOS DE EQUILÍBRIO: SISTEMA DE FORÇAS E POLIAS<sup>1</sup>

---

*Luis Dias Almeida*

Departamento de Física – FURG

*Berenice Vahl Vaniel*

Bolsista de Iniciação Científica do CNPq

Rio Grande – RS

## **Resumo**

*Apresentamos um conjunto de materiais que permitem a realização de experimentos de estática. O equipamento é simples, fornece medidas razoáveis e possibilita a montagem de diversos experimentos, estimulando a criatividade do aluno.*

## **I. Introdução**

O estudo experimental da estática, nas escolas de ensino fundamental e médio, esbarra sempre na dificuldade de se obter medidas de força em situações de equilíbrio que sejam confortáveis e reproduzíveis.

Apresentamos aqui um dispositivo experimental relativamente simples, que permite realizar diversos experimentos de estática, de acordo com a criatividade do aluno. Caso o professor encontre dificuldade em reproduzir este material sugerimos procurar uma alternativa local.

O conjunto consiste em uma chapa de acrílico de 4 mm, (poderia ser um compensado 9 mm, por exemplo) sustentado verticalmente por dois “pés” (Fig. 1). Este painel contém uma série de furos igualmente espaçados, onde polias (Fig. 2) e parafusos podem ser utilizados. A polia F é fixa no painel e tem a finalidade de modificar o sentido da tensão ao longo do fio. Já a polia G é móvel na medida em que ela é sustentada apenas pelo fio e pelos corpos A e B. Mais adiante veremos que esta polia permite diminuir o valor da tensão ao longo do fio.

---

<sup>1</sup> Trabalho apresentado no III Congresso de Iniciação Científica UFPel/ FURG, Pelotas-RS, 09 e 10 de Novembro de 1994.

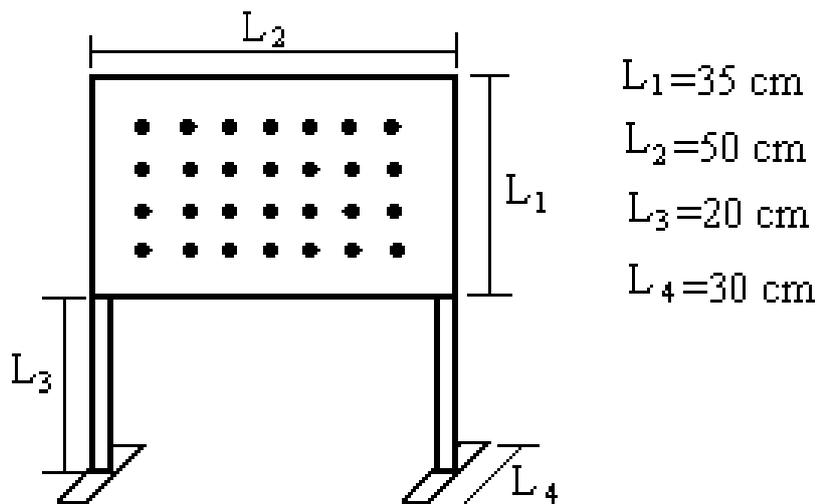


Fig. 1

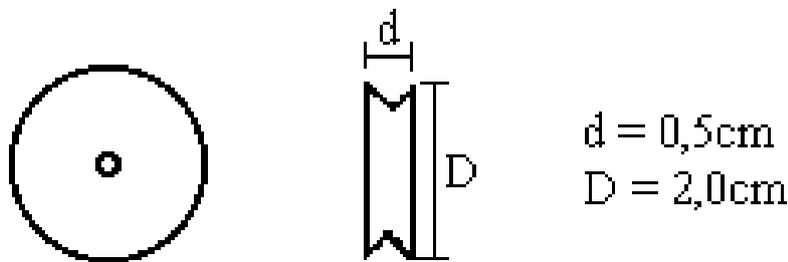


Fig. 2

As polias podem ser encontradas em uma ferragem<sup>2</sup>. A dificuldade maior, entretanto, seria encontrar uma com as características desejáveis: leveza e baixo coeficiente de atrito entre a polia e o eixo. Por este motivo optamos em confeccionar uma peça de alumínio em um torno mecânico.

Os corpos *A* e *B* podem ser massas pequenas de aproximadamente 10 e 20 gramas, e massas grandes de 50 e 100 gramas. Em uma ferragem podem ser comprados anéis de corrente com diferentes espessuras, cada anel seria uma das massas pequenas. Para as massas grandes, o ideal seria comprar uma barra de ferro e serra-la no comprimento correto. A sustentação da massa pela polia móvel pode ser feita através de um arame em forma de uma letra “C” (Fig. 3). Um fio duro e desencapado poderia ser utilizado para este fim.

---

<sup>2</sup> Por exemplo, existem roldanas apropriadas para suspender roupas em varais.

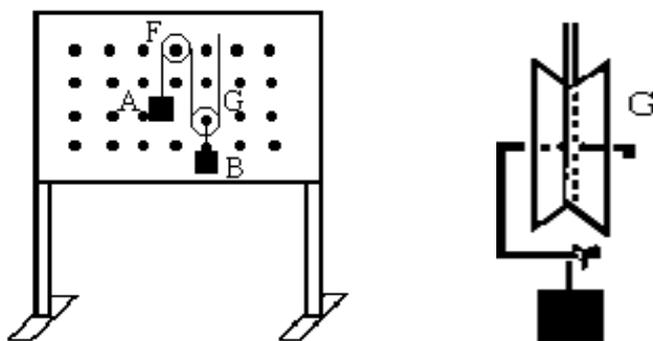


Fig. 3

## I. Material

- Um painel sustentado por dois “pés” (Fig. 1)
- No mínimo, 4 polias (fig. 2)
- Diversas massas de 10, 20, 50 e 100 gramas
- Fio
- Parafusos e porcas para fixar as polias

Sugerimos que as polias sejam de aproximadamente 2 gramas. Uma das vantagens deste conjunto é a sua versatilidade. Dependendo da criatividade do aluno (e do professor), muitos experimentos poderiam ser montados, dependendo da posição e do número de polias fixas e móveis. A seguir, vamos apresentar dois exemplos.

## II Os experimentos

### II.1 Experimento 1: Situações de equilíbrio envolvendo uma polia fixa e $n$ polias móveis

A Fig. 4 apresenta três situações de equilíbrio. A primeira (caso A) é idêntica a da Fig. 3. Nos casos B e C, aumentamos o número de polias móveis para duas e três, respectivamente. Mostramos, também, um diagrama das forças atuantes nas partes móveis do conjunto. Note que o peso das polias, assim como o do fio, é desprezado em comparação com as demais forças. Podemos, então, caracterizar a situação de equilíbrio com as seguintes relações

$$\begin{array}{ll}
 \text{Caso A: 1 roldana móvel} & \rightarrow P_B = 2P_A \rightarrow M_B = 2M_A \\
 \text{Caso B: 2 roldanas móveis} & \rightarrow P_B = 4P_A \rightarrow M_B = 4M_A \\
 \text{Caso C: 3 roldanas móveis} & \rightarrow P_B = 8P_A \rightarrow M_B = 8M_A
 \end{array} \quad (1)$$

Comparando estes três resultados, a generalização para o caso com  $n$  polias móveis ficaria:

$$n \text{ roldanas móveis} \rightarrow P_B = 2^n P_A \rightarrow M_B = 2^n M_A \quad (2)$$

onde  $n$  é o número de polias móveis.

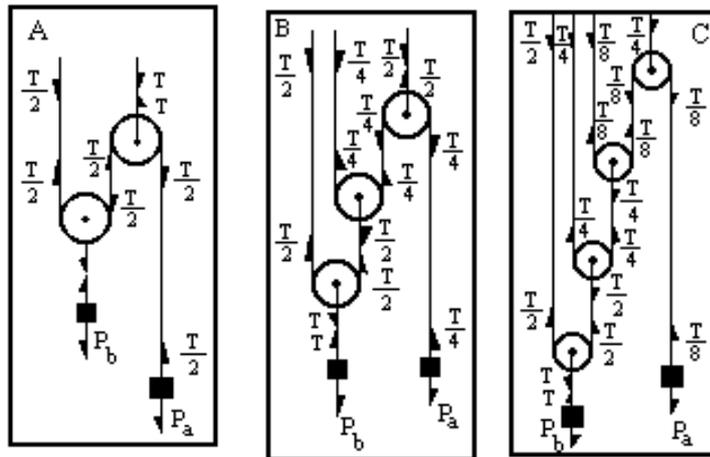


Fig. 4

Uma verificação experimental deste resultado pode ser feita pelo seguinte procedimento. Sugerimos começar pelo caso A. A idéia seria, na base da tentativa, aumentando ou diminuindo as massas suspensas pelo fio, verificar para quais valores de  $M_A$  e  $M_B$  o conjunto fica em equilíbrio. Na tabela 1 fixamos alguns valores de  $M_A$  e registramos os respectivos valores obtidos para  $M_B$ . Naturalmente, o atrito da polia com o eixo é a fonte de erro principal, de modo que assinalamos os valores máximos e mínimos observados na condição de equilíbrio. Ao lado, colocamos o valor médio e o resultado teórico fornecido pela equação (2).

O mesmo procedimento é seguido nos casos B e C da Fig. 4. A comparação entre os valores médios e os resultados teóricos revela uma concordância satisfatória, embora esta diferença aumente à medida em que aumentamos o número de polias e os valores de  $M_A$  e  $M_B$ . De fato, quando isto acontece torna-se mais difícil montar o conjunto, mesmo não existindo uma limitação teórica quanto ao número de polias móveis. Lembramos também que não está sendo levado em conta o peso da(s) polia(s) se comparando com o do corpo B.

$M_a$ (g)	CASO A : POLIA MÓVEL				CASO B : POLIAS MÓVEIS				CASO C : 3 POLIAS MÓVEIS			
	$M_b$ (g)				$M_b$ (g)				$M_b$ (g)			
	Valor mínimo	Valor máximo	Valor médio	Resultado teórico	Valor mínimo	Valor máximo	Valor médio	Resultado teórico	Valor mínimo	Valor máximo	Valor médio	Resultado teórico
10	20	20	20	20	30	40	35	40	50	100	75	80
20	30	50	40	40	60	90	75	80	90	190	140	160
30	50	70	60	60	90	130	110	120	160	310	235	240
40	70	90	80	80	120	200	160	160	300	410	355	320
50	90	110	100	100	150	230	190	200				
60	110	130	120	120	170	280	225	240				
70	120	160	140	140								
80	140	190	165	160								

Tabela 1

## II.2 Experimento 2: Cálculo da força resultante

A Fig. 5 ilustra a montagem do experimento. Duas polias fixas são colocadas no painel e o fio sustenta três massas:  $M_A$ ,  $M_B$  e  $M_C$ . A idéia consiste em analisar o diagrama de força que atua no ponto **O** e verificar a condição de equilíbrio onde  $\vec{P}_A + \vec{P}_B + \vec{P}_C = 0$ . Para fazer isso fixamos um papel milimetrado no painel e assinalamos com o lápis os pontos **A**, **B**, **C** e **O**. A disposição dos pontos fornece a direção relativa das forças que atuam em **O** ao longo de cada “pedaço” do fio. Os valores das massas fornecem indiretamente os respectivos módulos de cada força.

Fixando um valor para  $M_A$  e  $M_B$ , localizamos no papel a posição de equilíbrio (ponto **O**) para um dado valor de  $M_C$  e as direções de cada fio (pontos **A**, **B** e **C**). A seguir, retiramos o papel e avaliamos o ângulo  $\theta$ , conforme a Fig. 5.

Aplicando a lei dos cossenos podemos calcular  $|\vec{P}_A + \vec{P}_B| = P_C$ :

$$P_C = \sqrt{P_A^2 + P_B^2 - 2P_A P_B \cos(\alpha)} = \sqrt{P_A^2 + P_B^2 + 2P_A P_B \cos(\theta)}, \quad (3)$$

lembrando que  $\theta + \alpha = 180^\circ$ . Este valor pode ser comparado com  $P_C = M_C g$ .

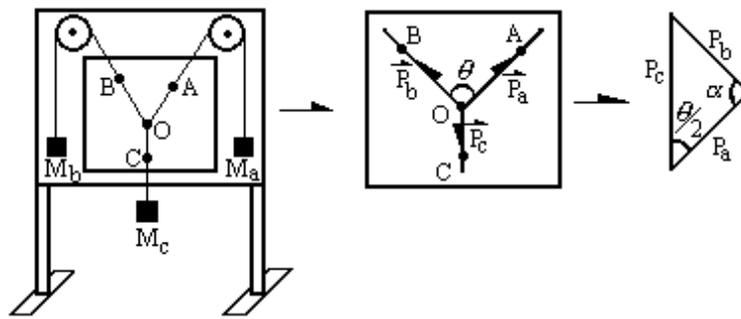


Fig. 5

A tabela 2 reúne os valores encontrados, e em todos os casos fixamos  $M_A = M_B = 50\text{g}$ . A localização da posição de equilíbrio no papel (ponto O) requer um certo cuidado porque o sistema fica parado em mais de uma posição (efeito do atrito). Recomendamos fazer várias tentativas até localizar um ponto de equilíbrio “médio”. Em nossas medidas, os valores da última coluna da tabela 2 foram encontradas com uma incerteza da ordem de 5%.

$M_c(\text{g})$	$F_c(\text{N}) = M_c \text{ g}$	$\theta(^{\circ})$	$F_c(\text{N})$ eq. (3)
149	0,29	30	0,26
133	0,39	40	0,39
110	0,59	60	0,56
77	0,78	80	0,76

Tabela 2

Em princípio, as posições das polias no painel podem ser bastante variadas. Na prática, entretanto, não é recomendável que ela fiquem muito porque, neste caso, a localização do ponto “O” no papel seria demasiadamente imprecisa.

Este tipo de experimento poderia ser realizado de inúmeras maneiras alternativas. Por exemplo, ao invés de medirmos o ângulo  $\theta$  poderíamos aplicar diretamente no papel a soma vetorial  $\vec{P}_A + \vec{P}_B$  pela regra do paralelogramo. Outra alternativa seria calcular as componentes verticais dos pesos de  $M_A$  e  $M_B$  ao longo de cada fio.

### III. Avaliação

Gostaríamos de ressaltar algumas características do material apresentado

- *Versatilidade*: O conjunto que possibilita a montagem de diversos experimentos, além do aqui apresentados, dependendo do número de polias (fixas e móveis), massas, etc. Esta é uma característica desejável na medida em que estimula a criatividade do aluno.

- *Simplicidade*: O conjunto que utiliza materiais simples e duráveis<sup>3</sup>. Um professor ou aluno, com gosto em atividades práticas, poderia construí-lo sem grandes dificuldades, o que aumenta o interesse de participação na atividade.

- *Confiabilidade*: se o experimento for realizado com cuidado, os resultados são confiáveis e reveladores da condição de equilíbrio. Isto é importante porque em geral os experimentos demasiadamente simples servem apenas para ilustrar qualitativamente alguns resultados.

O conjunto *Sistema de forças e polias* reúne diversos experimentos de estática e está sendo desenvolvido pelo nosso Laboratório de Ensino de Física. Acompanham o conjunto dois textos:

- Um resumo da teoria, roteiro de diversos experimentos e testes de avaliação destes experimentos.

- Um teste de avaliação mais abrangente, da mesma área de conhecimento (no caso, a dinâmica), porém não restrita aos objetivos do experimento.

Brevemente, este conjunto estará à disposição dos professores das escolas da região. Atualmente, ele está sendo aplicado em grupos de alunos das escolas do município de Rio Grande, RS. Estes alunos já estudaram esta matéria em suas respectivas escolas.

Até agora, não foi nosso objetivo realizar uma análise estatística dos resultados obtidos. Apesar disto, gostaríamos de mencionar um aspecto que nos chamou atenção. Muitos alunos demonstraram entender razoavelmente bem os objetivos do experimento, fato constatado no preenchimento dos roteiros. Isto foi ainda mais evidente quando o professor era acessível para eventuais esclarecimentos. Entretanto, quando estes mesmos alunos enfrentavam um teste de avaliação mais abrangente, os resultados não foram animadores se comparados com a situação anterior. Por exemplo, este conjunto de experimentos não é muito efetivo na distinção entre os conceitos de massa e peso, com exceção talvez do segundo, que revela pelo menos de forma mais enfática a natureza vetorial (por ser no plano) da força.

Esta dificuldade em transcender a situação específica do experimento é bastante geral, e nos leva a indagar até que ponto um “conjunto de experimentos” pronto, sem a participação de alunos e professores na sua concepção, é eficaz no processo ensino-aprendizagem. Por outro lado, há de se levar em consideração o tempo

---

<sup>3</sup> Note que não utilizamos dinamômetros que, via de regra, não duram muito em sala de aula.

exíguo que o professor dispõe para preparar suas atividades e para cumprir o programa mínimo da matéria, não sendo possível, naturalmente, realizar todos os experimentos que desejaria.

Talvez a atitude mais correta do professor seja, ao dispor de um experimento “pronto” em suas mãos, não se considerar “liberado” do compromisso de uma participação mais ativa. O ideal seria o professor aproveitar o ambiente da aula prática, que possibilita uma relação mais próxima com os seus alunos, para ir um pouco mais adiante do experimento, explorando novas situações.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem à laboratorista Núbia Cantarelli de Sá, pelo apoio técnico. Um dos autores (B.V.V.) agradece ao CNPq pelo apoio financeiro.