

## RELATÓRIO FINAL

Projeto de Tópicos de Ensino de Física I - F 609

Experiências sobre Atrito



Aluna: **Érica Formighieri**

RA: 060412

[ecaformi@gmail.com](mailto:ecaformi@gmail.com)

Orientador: Prof. Dr. André Koch Torres de Assis

[assis@ifi.unicamp.br](mailto:assis@ifi.unicamp.br)

Homepage: <http://www.ifi.unicamp.br/~assis/>

Campinas, 10 de junho de 2007

## Índice

1. Resumo.
2. Introdução.
3. O Projeto
  - 3.1 Experimentos.
    - 3.1.1 Lixa.
    - 3.1.2 Influência do peso no atrito.
    - 3.1.3 Arrastão.
    - 3.1.4 Disco flutuante.
    - 3.1.5 Rolamento.
4. Aula ministrada na escola.
5. Conclusão.
6. Agradecimentos.
7. Bibliografia.
8. Apêndices.
  - A. Questionário inicial aplicado aos alunos.
  - B. Experimento da lixa.
  - C. Experimento do peso.
  - D. Experimento do arrastão.
  - E. Experimento do disco flutuante.
  - F. Experimento do rolamento.
  - G. Relatório final.

Palavras chaves utilizadas neste projeto: Atrito, história do atrito, atrito estático, atrito cinético.

## 1. Resumo:

Este projeto tem como objetivo realizar algumas experiências sobre atrito apropriadas para alunos do ensino médio. Queremos nos concentrar na parte conceitual, sem nos deter em fórmulas e cálculos. Buscamos as relações existentes entre o atrito e a área em contato, o peso e o tipo de superfície. Analisamos também as diferenças entre atrito de rolamento e atrito de deslizamento, e ainda um fenômeno de diminuição do atrito.

Para isso foram escolhidos cinco experimentos simples sobre o tema. Posteriormente construíram-se os artefatos variando-se os materiais utilizados e a forma. Finalmente preparou-se uma aula experimental para alunos do primeiro ano do ensino médio que foi aplicada aos alunos do colégio Sant'Anna em Vinhedo.

## 2. Introdução:

As forças de atrito entre o objeto apoiado e a superfície surgem das forças interatômicas ou intermoleculares entre as duas superfícies. Uma descrição exata do atrito em termos destas forças é muito complexa e não pode ser tratada em detalhes aqui. Além do mais, embora as superfícies em contato possam parecer muito lisas e planas, numa escala atômica uma ordem tal de lisura raramente pode ser obtida, e nesta escala as superfícies são irregulares e ásperas com 'pontos' altos e baixos. Como resultado, a área real de contato (medida da superfície total dos contatos) entre os dois objetos ocorre apenas em pontos relativamente pequenos, sendo que somente saliências microscópicas das superfícies estão em contato.

O atrito é estudado há cerca de 500 anos. Segue abaixo uma cronologia inicial das descobertas sobre o atrito, tirada de [1] e [2]:

Leonardo da Vinci (1452–1519): um dos primeiros a reconhecer a importância do atrito no funcionamento das máquinas. Leis de atrito de da Vinci:

- 1) A área de contato não tem influência sobre o atrito.
- 2) Dobrando a carga de um objeto o atrito também é dobrado.

Guillaume Amontons (1663–1705): redescoberta das leis de da Vinci. O atrito é devido à rugosidade das superfícies.

Charles August Coulomb (1736–1806): atrito proporcional à força normal e independente da velocidade.

Lei de Amontons-Coulomb:  $f_a = \mu N$ . Aqui  $f_a$  é a força de atrito,  $\mu$  é o coeficiente de atrito e  $N$  é a força normal sobre a superfície.

F. Philip Bowden e David Tabor (1950): Área real de contato é pequena.

Microscópio de Força Atômica (1986): Estudo em escala microscópica.

Quando uma força horizontal  $F$  é aplicada em um corpo apoiado em uma superfície áspera, surge uma nova força no corpo, de mesmo módulo e direção oposta a  $F$ . Essa força é chamada de força de atrito estático, sendo representada por  $f_s$ . Esta força age enquanto o objeto ainda se encontra parado em relação à superfície e é igual em módulo à força  $F$  aplicada. Ela é associada à interação microscópica entre as irregularidades das duas superfícies, seus pontos mais altos. A área em contato real é muito menor do que a área de contato visível. Com o aumento desta força  $F$ , chega-se a um limiar, sendo que neste ponto determina-se a força de atrito máxima. Experimentalmente a força de atrito estático é independente da área de contato e proporcional à força normal  $N$  que age entre o bloco e a superfície. Tem-se assim que:

$$f_s \leq \mu_s N. \quad (\text{Eq. 1})$$

Aqui  $\mu_s$  é o coeficiente de atrito estático. A força de atrito estático máxima ocorre na iminência de movimento:  $f_s^{\text{máxima}} = \mu_s N$ .

A partir do momento em que o bloco é colocado em movimento, a força  $F$  necessária para mantê-lo em movimento uniforme é freqüentemente menor do que o valor crítico da força necessária para iniciar o movimento. Esta força que contrabalança a força aplicada  $F$  no movimento uniforme é chamada de força de atrito cinético, representada por  $f_k$ . A lei que ela satisfaz é dada por:

$$f_k = \mu_k N . \quad (\text{Eq. 2})$$

Aqui  $\mu_k$  é o coeficiente de atrito cinético. A força de atrito cinético entre duas superfícies secas é praticamente independente da velocidade relativa entre elas, [3]. Em [4] acrescenta-se a idéia de que o atrito é um conceito estatístico. Assim, a força de atrito representa a soma de um grande número de interações entre as moléculas dos dois corpos em contato. Naturalmente é impossível levar em conta as interações moleculares individuais. Elas são determinadas de modo coletivo por métodos experimentais e representadas aproximadamente pelo coeficiente de atrito.

O Atrito de rolamento ocorre quando uma superfície sólida desliza sobre outra, [5]. As pequenas saliências e reentrâncias das superfícies prendem-se umas nas outras e produzem o atrito de deslizamento, que se opõe ao movimento. O atrito também se opõe ao movimento de um objeto redondo que rola sobre uma superfície sólida. O atrito de rolamento é menor do que o atrito de deslizamento.

### 3. O Projeto:

O presente projeto visa à realização de algumas experiências simples sobre o atrito para serem utilizadas e entendidas em nível de ensino médio. As experiências podem ser realizadas com simplicidade de construção e de operação. Utilizam os mais diversos tipos de materiais, o que faz com que este seja um projeto de baixo custo e apropriado para ser utilizado com alunos do ensino médio. Elas foram tiradas de [6].

Nestes experimentos utilizamos elásticos para medir a força de atrito. De acordo com a lei de Hooke, [7], uma mola sofrendo uma alongação que aumente ou diminua o seu comprimento de equilíbrio tende a voltar ao seu comprimento original exercendo uma força de intensidade proporcional à deformação:

$$F_{mola} = kx . \quad (\text{Eq. 3})$$

Aqui  $k$  = constante elástica que depende da dureza da mola, e  $x$  mede a alongação a partir do comprimento de equilíbrio. No limiar do movimento a força da mola é igual à força de atrito máxima:

$$kx = \mu_s N . \quad (\text{Eq. 4})$$

Neste projeto trataremos principalmente do atrito entre duas superfícies sólidas e secas. Lidaremos com as seguintes perguntas:

Será que o atrito depende do tipo das superfícies que estão em contato?

Será que a força de atrito depende do peso do corpo?

Será que a força de atrito depende do tamanho da área de contato entre as duas superfícies que estão interagindo?

Qual é a influência que o atrito exerce sobre a alteração do movimento de um corpo?

Será que o atrito de deslizamento é diferente do atrito de rolamento?

#### 3.1 Experimentos

Para responder a estas perguntas realizamos algumas experiências que descrevemos a seguir: experiência da lixa, da influência do peso no atrito, do arrastão, do disco flutuante e do rolamento.

### 3.1.1 LIXA

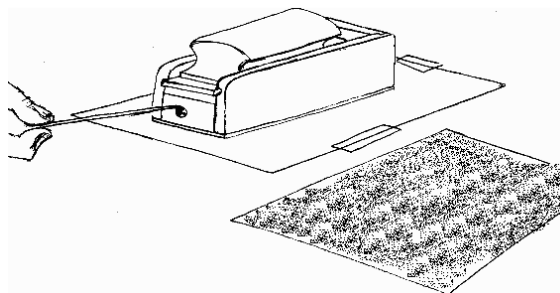


Figura 1: Experiência para verificar a influência do tipo de superfície na força de atrito, [6].

Inicialmente analisamos a influência que o tipo das superfícies em contato exerce na força de atrito. Uma das superfícies era mantida sempre a mesma, a saber, a caixa de madeira. Variamos então a superfície sobre a qual a caixa se apoiava para ver a influência que isto teria na força de atrito exercida sobre a caixa quando tentávamos colocá-la em movimento.

Para a construção deste experimento pegou-se uma cartolina que foi dividida no sentido do seu maior comprimento em três partes, como pode ser visto na Figura 2. Na primeira divisória colou-se uma lixa d'água número 320, na segunda divisória colou-se uma lixa d'água número 100 e na terceira deixou-se somente a cartolina. No centro de cada divisória traçou-se uma reta graduada com intervalos de 1 cm. Construiu-se uma caixa de madeira retangular de aproximadamente 15 cm x 8 cm e nela acoplou-se, com uma tachinha, um elástico chato de aproximadamente 0,5 cm de largura e 10 cm de comprimento. A massa da caixa vazia é de 263 g. Para a realização do experimento colocou-se a caixa em cada uma das três superfícies e mediu-se o ponto em que a ponta livre do elástico estava na reta graduada. Nesta experiência o comprimento de equilíbrio do elástico era de  $L_0 = 10$  cm. Puxou-se devagar o elástico até a iminência do movimento da caixa e mediu-se novamente a posição da ponta do elástico na reta graduada.

Foram testados outros tipos de elásticos, mas para este experimento o que melhor se adaptou foi o elástico chato de 0,5 cm de largura.

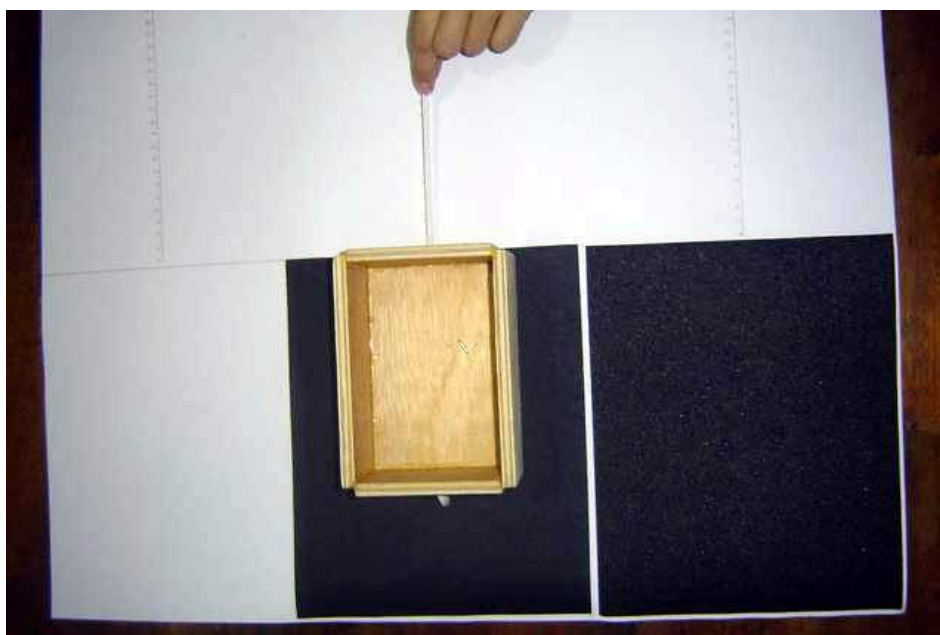


Figura 2: Foto do experimento. Três superfícies distintas (cartolina, lixa número 320 e lixa número 100), a caixa com elástico e a reta graduada na cartolina.



Figura 3: Foto do aparelho utilizado para medir a força em Newtons.

Para cada superfície em contato com a caixa foram feitas cinco medidas do elástico esticado na iminência do movimento. Então foram feitas médias destas medidas. Os dados obtidos foram:

$L_0$  = Comprimento do elástico não esticado = 10 cm.

Tabela1: Dados obtidos com variações de superfície.

	Lixa 320	Lixa 100	Cartolina
L1 (cm)	19	19,5	17
L2 (cm)	18,8	19	16,5
L3 (cm)	18,5	19	17,3
L4 (cm)	19	19,5	16,5
L5 (cm)	19,2	18,9	17,5
Lmédio (cm)	18,9	19,18	16,96
$x = \Delta L =$ Lmédio – $L_0$ (cm)	8,9	9,18	6,96

Como as variações de comprimento do elástico no caso das duas lixas foram relativamente maiores do que no caso da cartolina, pode-se perceber que quanto mais rugosa é a superfície, maior o atrito existente, notando-se então a influência da superfície na força de atrito.

Um fato interessante é que no início das experiências imaginou-se que a lixa mais grossa (320) geraria um atrito maior do que a mais fina (100). Mas não foram obtidas diferenças significativas entre os resultados das duas lixas. Vamos considerar aqui que o  $\Delta L$  médio de cada uma das duas lixas foi de aproximadamente 9 cm, enquanto que o  $\Delta L$  da cartolina foi de aproximadamente 7 cm. Temos então que a razão entre o coeficiente de atrito da lixa em contato com a caixa para o coeficiente de atrito da cartolina em contato com a caixa é de aproximadamente  $9/7 = 1,3$ .

### 3.1.2 INFLUÊNCIA DO PESO NO ATRITO

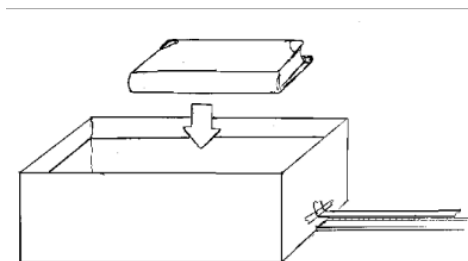


Figura 4: Experiência para analisar a influência do peso no atrito, [6].

Agora vamos analisar a influência do peso na força de atrito. Para isto mantemos sempre superfícies do mesmo tipo e do mesmo tamanho em contato, variando apenas o peso total da caixa e vendo sua influência na força de atrito.

Para a montagem deste experimento foi utilizada uma cartolina com uma reta graduada central paralela aos seus lados maiores. Utilizou-se uma caixa de madeira de 15 cm x 8 cm, com uma massa de 263 g. Acoplado à caixa utilizou-se um elástico chato de 1 cm de largura preso com tachinha na caixa. Utilizaram-se também cinco pesos iguais feitos com saquinhos de areia cada um com uma massa 263 g, que é o peso da caixa vazia.

Para efetuar o experimento deve-se posicionar a caixa vazia na cartolina e medir a posição do elástico relaxado. Então deve-se puxar o elástico até a iminência do movimento e marcar a nova posição. A diferença das posições é o alongamento do elástico. Posteriormente deve-se colocar um peso de mesma magnitude da caixa e repetir o procedimento. E assim sucessivamente com mais pesos. Seguem abaixo duas fotos do experimento montado:

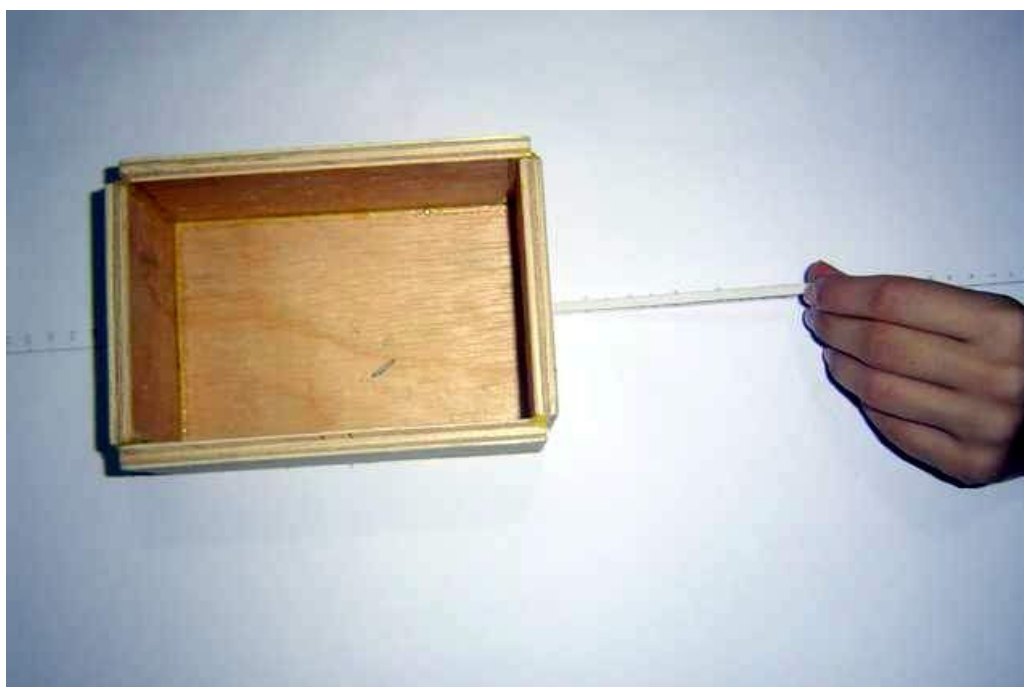


Figura 5: Caixa acoplada a um elástico em uma superfície graduada.

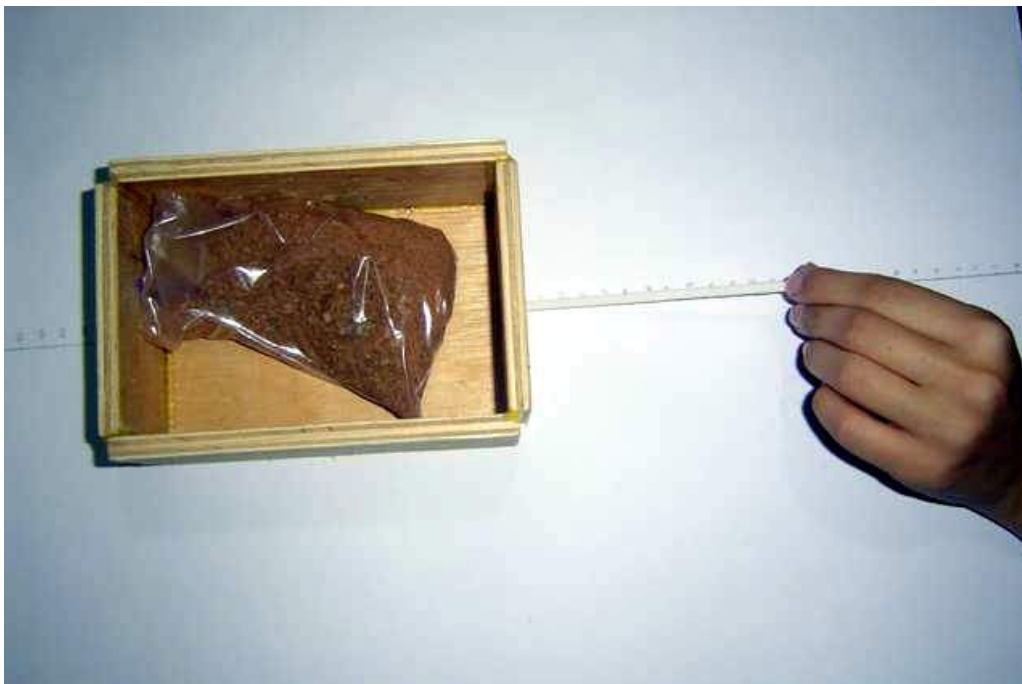


Figura 6: Caixa acoplada a um elástico e com um peso adicional, de mesma magnitude do peso da caixa.

Para cada peso foram feitas cinco medidas do comprimento do elástico na iminência do movimento da caixa, sendo então feita uma média das elongações dos elásticos.

Tabela2- Dados obtidos com variações de peso.

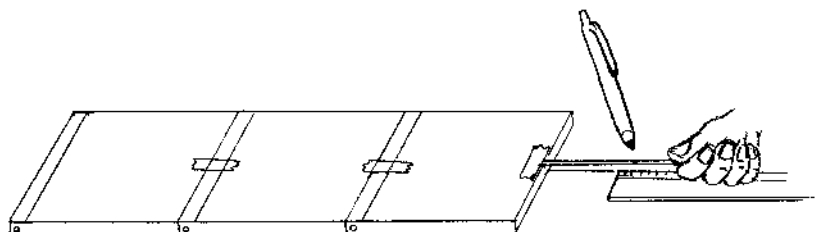
	Caixa vazia	Caixa + 1 peso	Caixa + 2 pesos	Caixa + 3 pesos	Caixa + 4 pesos
$\Delta l$ 1 (cm)	0,8	5,5	13	19	25
$\Delta l$ 2 (cm)	0,7	5,5	14	19,5	24,5
$\Delta l$ 3 (cm)	0,6	7	13	19,2	24,2
$\Delta l$ 4 (cm)	0,6	7	14	19,2	24
$\Delta l$ 5 (cm)	0,6	7	12,5	19,5	24,2
$x = \Delta l$ médio (cm)	0,7	6,4	13,3	19,3	24,4

#### Resultados:

Dos três tipos de elástico testados o que obteve melhor desempenho na maioria dos casos foi o elástico chato de 1 cm de largura. O elástico de 0,5 cm de largura só funcionava com pouco peso na caixa. Já o elástico roliço só funcionava adequadamente com muito peso. O elástico de 1 cm de largura gerou resultados lineares, como se pode perceber na Tabela 2. Isto é, a cada peso colocado o elástico se alongava de aproximadamente 6 cm.

Desta experiência e da Equação (4) concluímos então que a força de atrito estático na iminência do movimento é proporcional ao peso do corpo.

### 3.1.3 ARRASTÃO





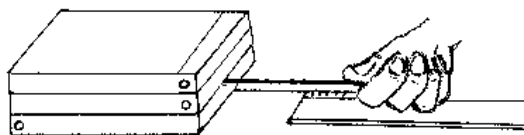


Figura 7: Experiência para verificar a influência da área na força de atrito, [6].

Agora vamos analisar a influência que a área de contato possa ter sobre a força de atrito. Para isto mantemos sempre o mesmo tipo de superfícies em contato, mantendo também constante o peso total do artefato. Variamos apenas o tamanho da área de contato e tentamos verificar se isto afeta ou não a força de atrito.

Para a confecção deste artefato foram feitas primeiramente cinco placas quadradas de madeira de comprimento 10 cm e largura 10 cm. Ligaram-se as placas com fita adesiva de forma que o conjunto possa ser dobrado sobre si. Anexou-se um elástico de dinheiro cortado ao meio obtendo-se 15 cm de comprimento. Graduou-se uma cartolina com intervalos de 1 cm.

Para a realização da experiência coloca-se o artefato dobrado sobre si na cartolina graduada. Deste modo temos uma unidade de área em contato com a superfície. Marca-se a posição inicial do elástico estendido e puxa-se até a iminência de movimento do bloco. Mede-se a nova posição. A diferença de comprimento do elástico é observada e anotada. Abre-se agora o artefato, colocando-se respectivamente 2, 3, 4 e 5 unidades de área em contato com a superfície. Repete-se para cada quantidade de área inicial o procedimento anterior.

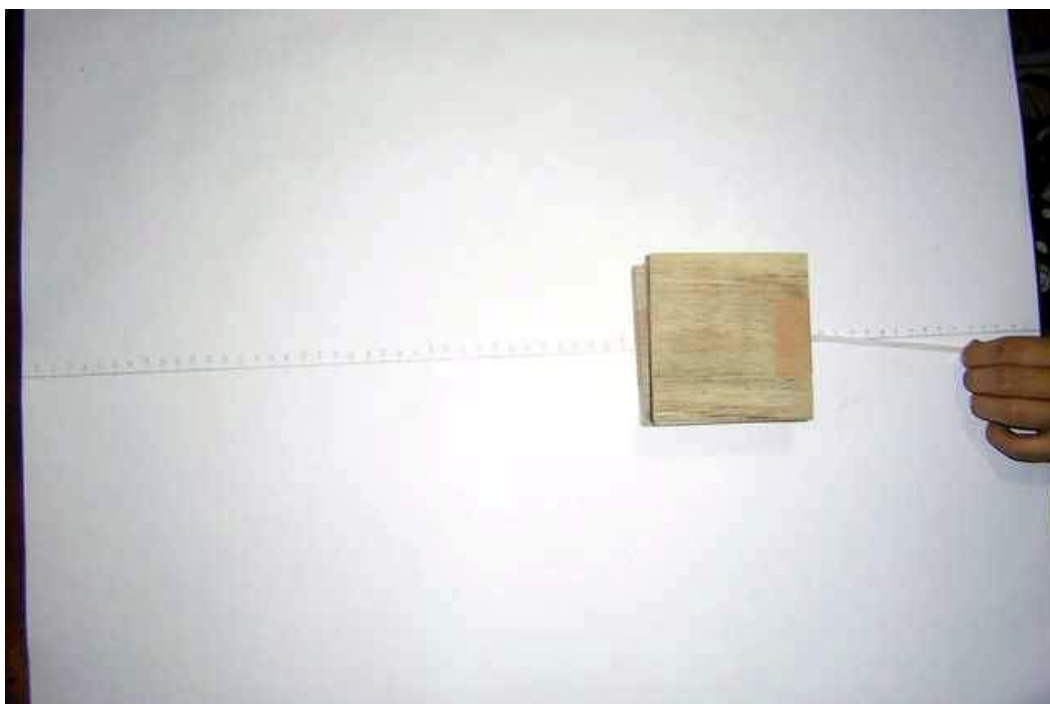


Figura 8: Foto do artefato dobrado sobre si mesmo e tendo apenas uma unidade de área em contato com a cartolina.

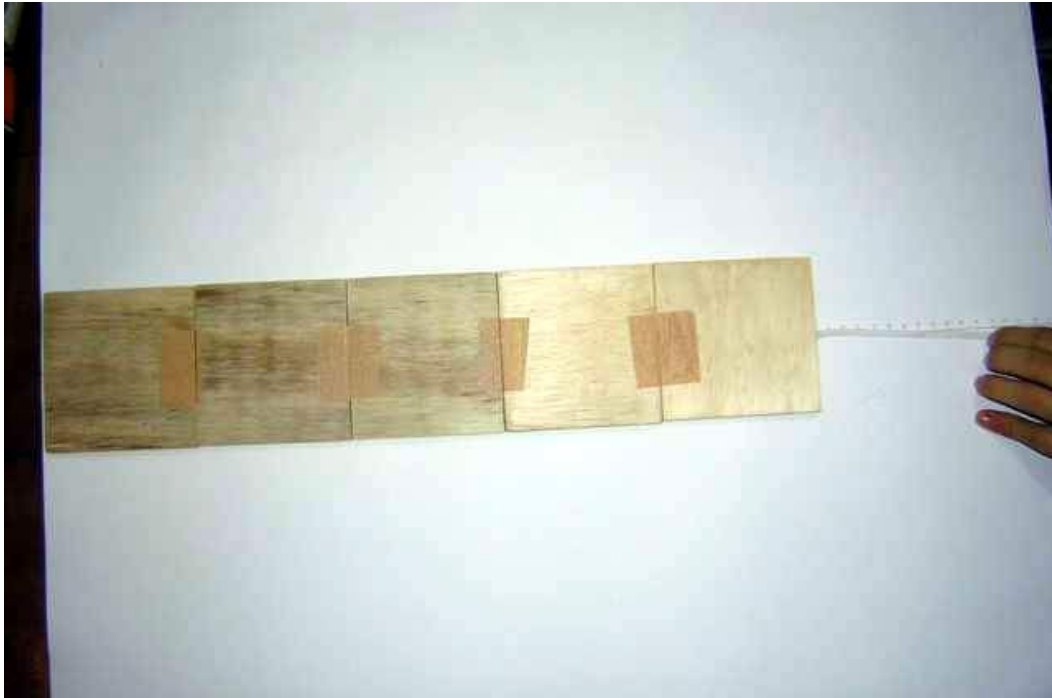


Figura 9: Foto do artefato esticado tendo 5 unidades de área em contato com a cartolina.

Para cada quantidade de unidades de área em contato com a superfície foram feitas cinco experiências anotando o alongamento do elástico,  $\Delta L$ , até alcançar a iminência do movimento. Os resultados encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3: Alongamento  $\Delta L$  do elástico em função do número N de unidades de área do artefato em contato com a cartolina.

Elongamento do elástico	N = 1	N = 2	N = 3	N = 4	N = 5
$\Delta L$ 1 (cm)	2,0	2,2	2,0	2,0	2,0
$\Delta L$ 2 (cm)	2,2	2,0	2,0	2,1	2,0
$\Delta L$ 3 (cm)	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1
$\Delta L$ 4 (cm)	2,0	2,0	2,1	2,0	2,0
$\Delta L$ 5 (cm)	2,1	2,0	2,1	2,2	2,0
$\Delta L$ médio (cm)	2,06	2,04	2,06	2,08	2,02

Neste experimento percebemos que apesar da área variar entre uma e cinco vezes em relação à área inicial, a deformação do elástico para alcançar a iminência do movimento foi basicamente a mesma para todos os testes. Considerando os erros experimentais existentes, podemos concluir que o tamanho da área macroscópica de contato não influencia no atrito estático.

### 3.1.4 DISCO FLUTUANTE

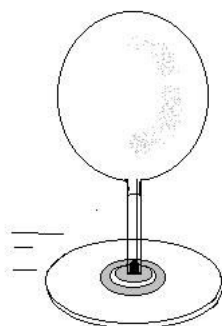


Figura 10: Desenho do experimento disco flutuante.

O objetivo desta experiência é analisar a influência do atrito na alteração do estado de movimento de um corpo. Para isto lançamos um corpo com a mesma velocidade inicial em relação a uma superfície em repouso, analisando a distância que ele vai percorrer até parar em duas situações diferentes. Na primeira situação existe uma grande força de atrito entre as duas superfícies em contato, enquanto que na segunda situação existe uma pequena força de atrito entre as duas superfícies em contato. Para alterar a força de atrito sem variar os tipos das superfícies em contato, nem os tamanhos das áreas em contato, nem mesmo os pesos dos artefatos, utilizamos um corpo com ou sem uma camada de ar entre ele e a superfície sobre a qual se apoiava. Em particular, demos uma mesma velocidade inicial a uma bexiga vazia e a uma bexiga cheia de ar que ia soltando ar à medida em que se deslocava.

Para fazer este experimento deve-se recortar um círculo de papelão de 10 cm de diâmetro. Em seguida fura-se no papelão um furo central de 2 mm de diâmetro. São feitos três discos de cartolina: o primeiro com aproximadamente 6 cm de diâmetro e um furo central de 2 mm de diâmetro; o segundo e o terceiro com 4 e 2 cm de diâmetro, respectivamente, com furos centrais com o mesmo diâmetro do corpo da tampa do fundo da caneta bic (aproximadamente 4 mm). Cole o maior círculo de cartolina sobre o papelão, de forma que os furos centrais coincidam. Faça um furo no fundo da tampinha vedante da caneta bic (a tampinha do fundo da caneta), com um alfinete com aproximadamente 2 mm de diâmetro. Cole a tampinha de base para baixo sobre o primeiro pedaço de cartolina já colado anteriormente, de forma a coincidirem os furos centrais. Encaixe e cole sobre a tampinha o segundo e o terceiro disco de cartolina. Corte a caneta bic ao meio. Prenda a bexiga no tubo da caneta, também com fita adesiva. Utilize também uma cartolina graduada como nos outros experimentos.

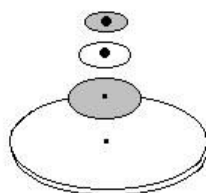


Figura 11: Desenho de como fazer a base do experimento.

Para iniciar o experimento posicione o artefato com a bexiga vazia e marque a posição inicial do artefato. Dê um peteleco na base do conjunto e marque a distância alcançada.

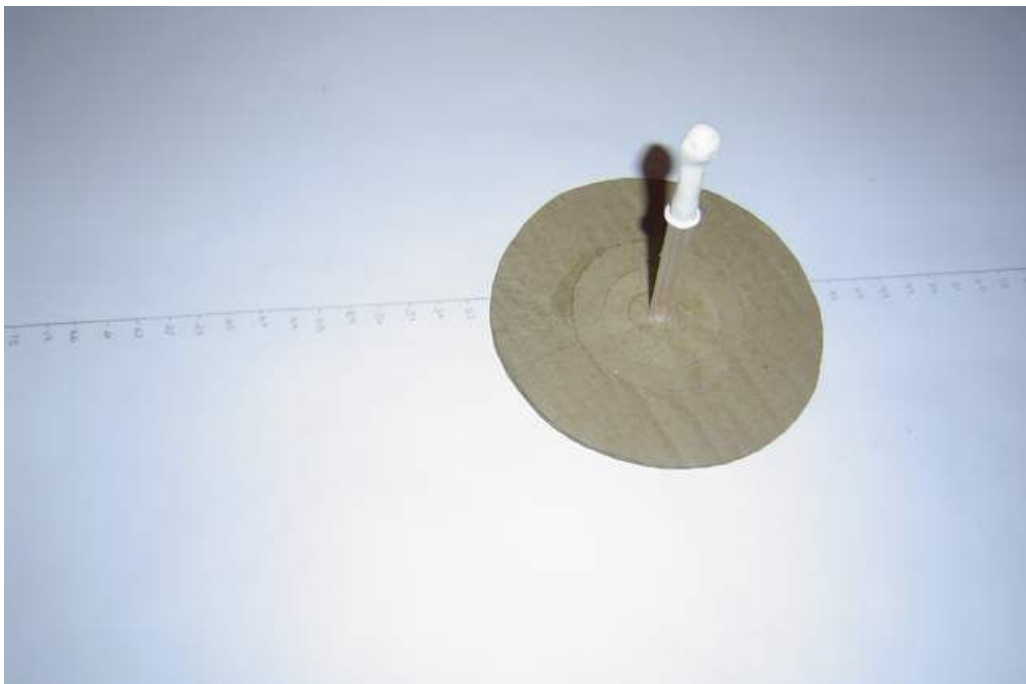


Figura 12: Foto do conjunto base com bexiga vazia em uma reta graduada.

Encha a bexiga através da caneta, anexe ao conjunto. Dê novamente um mesmo peteleco na base, tentando utilizar a mesma força, de modo tal que a bexiga comece seu movimento com a mesma velocidade inicial do caso anterior. Meça a nova distância.

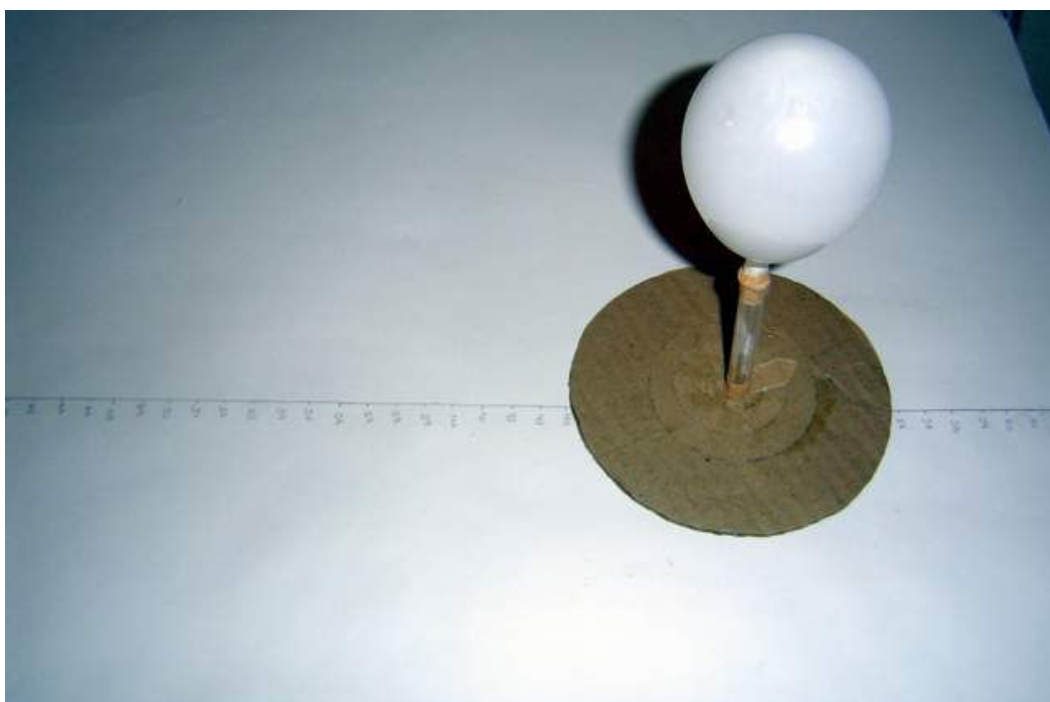


Figura 13: Foto do conjunto base com bexiga cheia em uma reta graduada.

Este experimento foi o mais difícil de ser realizado já que vários fatores afetaram em seu bom desempenho. Dentre eles o peso do artefato, que não pode ser muito grande. Para resolver este problema não se pode utilizar um papelão muito grosso e pesado. O mais importante a ser feito é cortar a caneta bic ao meio, aproximadamente perto do furo que existe na sua lateral e ali sim acoplar a bexiga.

A bexiga utilizada que gerou menos problemas nesta experiência foi a de menor tamanho que conseguimos encontrar (ela não possui uma numeração específica). Foram também testados balões de vários tamanhos. Mas por serem mais pesados, caíam sobre o experimento modificando drasticamente os resultados. Deve-se segurar o ar na bexiga até o momento de dar o peteleco no artefato, pois como ela é pequena esvazia rapidamente. É muito importante que os furos da base estejam alinhados e que sejam de um tamanho razoável para permitir a saída de ar em quantidade suficiente. Durante os testes é necessário que se tente sempre utilizar a mesma força para dar o peteleco ao artefato, senão os resultados não serão satisfatórios.

Para cada uma destas situações foram feitos cinco experiências. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 4, todos referentes às menores bexigas que encontramos (as que aparecem nas Figuras 12 e 13). Nesta Tabela temos que  $L_0$  é o comprimento percorrido pela bexiga vazia, enquanto que  $L$  é a distância percorrida pela bexiga cheia de ar (que vai esvaziando enquanto se desloca).

Tabela 4: Distâncias percorridas pela bexiga vazia ( $L_0$ ) e pela bexiga cheia de ar ( $L$ ) que vai esvaziando enquanto se desloca.

Testes	$L_0$ (cm)	$L$ (cm)
1	15,7	21,1
2	14,9	20,7
3	14,6	20,6
4	14,8	21,3
5	15,4	20,5
Média	15,1	20,9

Vemos então que a bexiga vazia percorreu uma distância média de 15,1 cm, enquanto que a bexiga cheia de ar percorreu uma distância média de 20,9 cm enquanto ia esvaziando ao se deslocar. Pode-se observar pelos dados da tabela acima que o colchão de ar formado pelo artefato faz com que ele percorra um trajeto mais longo. Isto comprova experimentalmente que existiu uma diminuição do atrito entre as duas superfícies.

### 3.1.5 ROLAMENTO

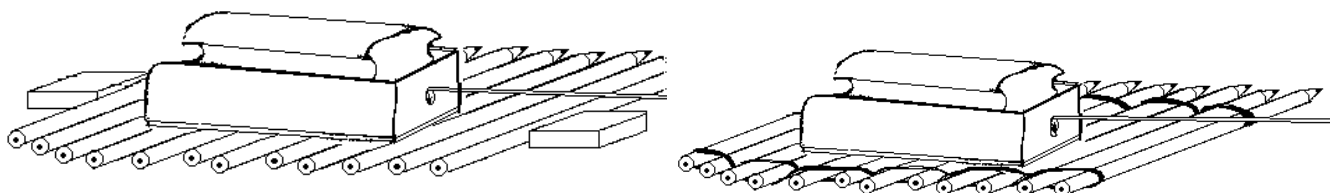


Figura 14: Experiência para mostrar a diferença entre o atrito de rolamento e o atrito de deslizamento, [6].

O objetivo desta experiência é analisar a diferença entre o atrito de rolamento e o atrito de deslizamento. Para isto vamos deslocar um corpo sobre um conjunto de lápis que podem girar ao redor de seus eixos enquanto o corpo se desloca sobre eles. Depois repetimos a experiência sendo que os lápis estão presos entre si, impedindo que girem ao redor de seus eixos, sendo que o corpo pode apenas deslizar sobre o conjunto.

Para a montagem deste artefato divide-se uma cartolina ao meio. Em uma das metades faz-se um quadrado com 4 lápis colados na cartolina e gradua-se a cartolina como mostra a Figura 15. Para

facilitar a adesão dos lápis na cartolina o ideal é cortar uma base reta na parte inferior dos lápis de modo que uma maior área possa ser colada na cartolina.

Após isto, completa-se o interior deste quadrado com lápis que vão ficar soltos, um ao lado do outro. Não se deve preencher completamente o espaço, pois a idéia é de que os lápis rolem sobre si. Para que isso ocorra é preciso que tenha um certo espaço entre eles.

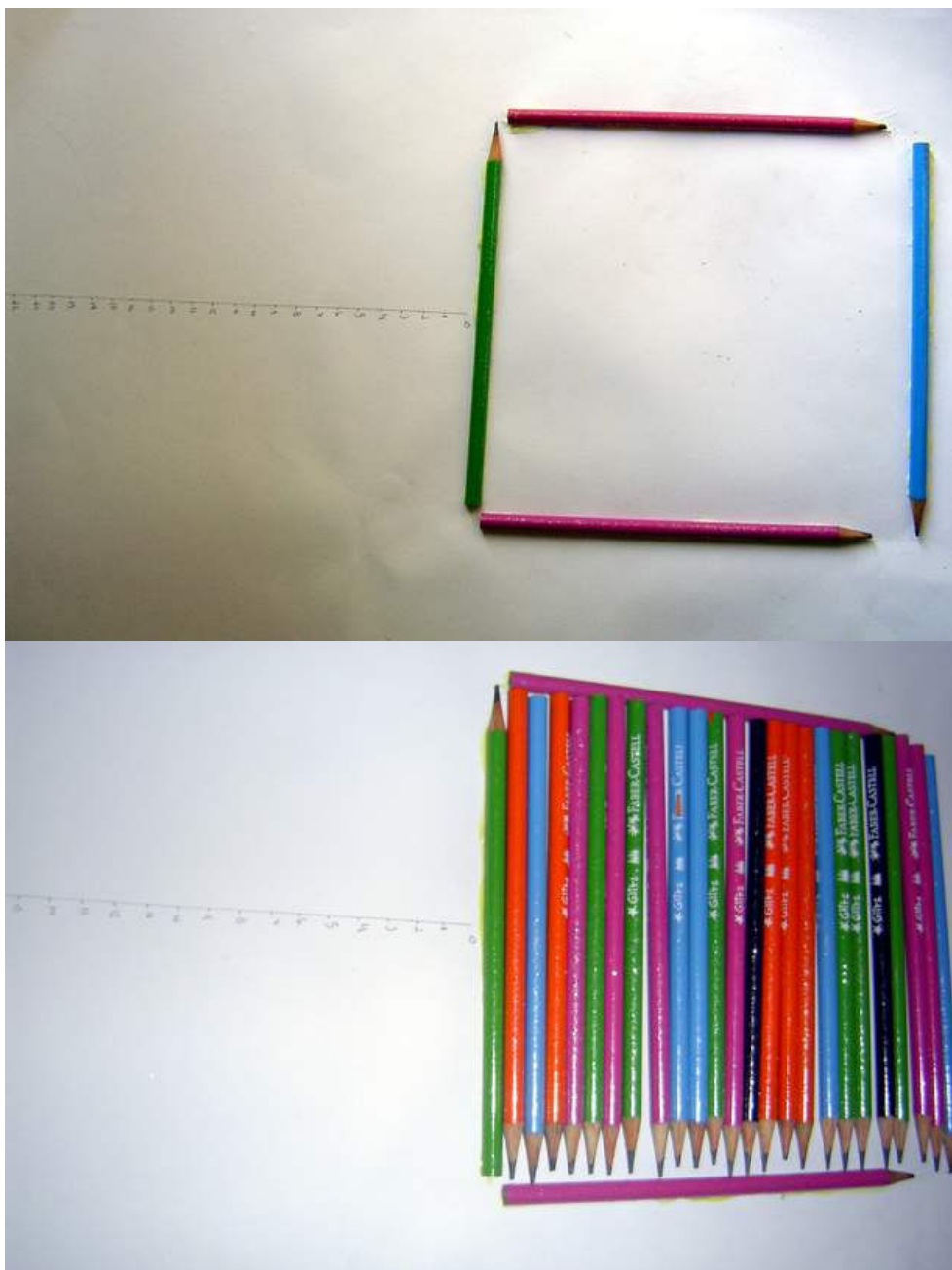


Figura 15: Quadrado formado por lápis colados à cartolina e o mesmo preenchido de vários lápis soltos um ao lado do outro.

Na outra metade fixa-se um conjunto de lápis colados entre si (ou presos por uma fita adesiva), formando um tapete fixo, como na Figura 16. Gradua-se também a cartolina a partir do centro deste conjunto, como mostra a Figura 16.

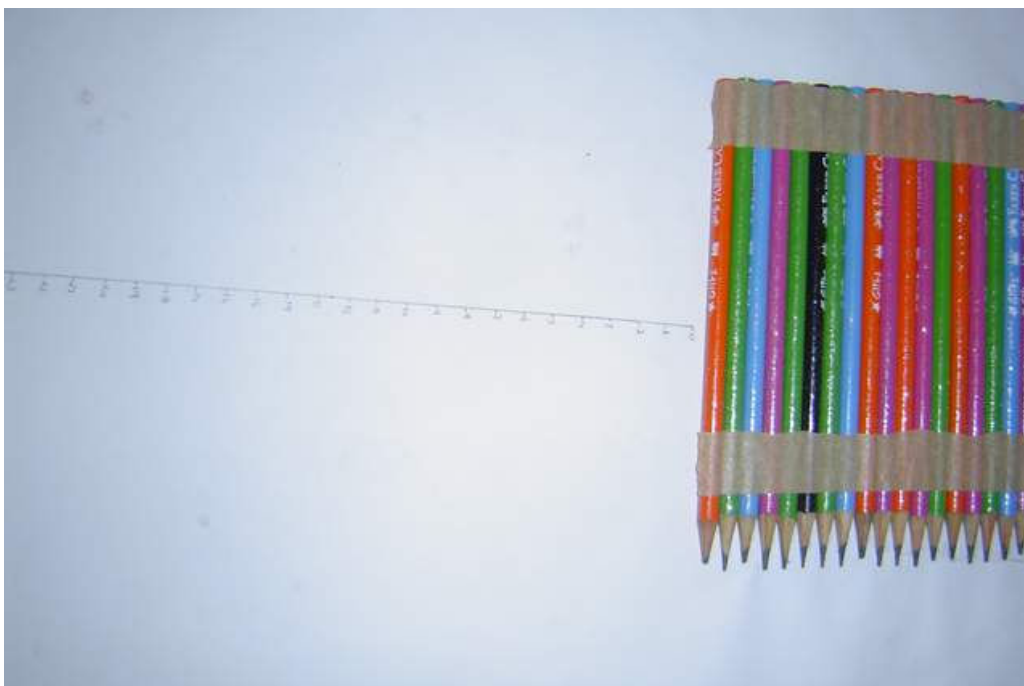


Figura 16: Tapete formado de lápis presos entre si para que a caixa deslize sobre eles sem que eles possam girar ao redor de seus eixos.

Para efetuar o experimento coloca-se uma caixa de madeira acoplada a um elástico, como nos experimentos anteriores, nas duas situações (lápis soltos e presos). Mede-se a posição inicial do elástico relaxado. Puxa-se até a iminência do movimento e mede-se novamente a posição. Comparam-se então as elongações do elástico até a iminência do movimento nestas duas situações.

Dificuldades: O experimento apresentou dificuldade de encontrar o material correto para fazer a experiência. Iniciou-se utilizando lápis escolar, mas por serem muito lisos, praticamente não ofereciam atrito ao conjunto caixa-lápis nos casos de rolamento e de deslizamento. Utilizaram-se então palitos de churrasco, que foram montados como nas ilustrações acima, mas estes também apresentam um problema que é da irregularidade de formas. Com isto os palitos não rolavam adequadamente. Mesmo conseguindo-se notar a diferença entre os dois casos com os palitos, preferiu-se voltar à utilização dos lápis por seu padrão mais adequado. Mas para que a experiência tivesse sucesso com a utilização de lápis, aumentou-se o peso da caixa para o dobro. Ou seja, utilizou-se uma massa total de 526 g. Fazendo uma caixinha mais pesada o experimento pôde ser realizado com os lápis obtendo-se os resultados fornecidos na Tabela 5. Foram feitas cinco experiências para cada caso, medindo-se a elongação do elástico até a iminência do movimento.

Tabela 5: Diferenças entre atrito de deslizamento e de rolamento. Medidas da elongação do elástico até a iminência do movimento da caixa.

Testes	$\Delta L$ (cm) no deslizamento	$\Delta L$ (cm) no rolamento
1	2,5	0
2	2,7	0
3	2,4	0
4	2,0	0
5	2,5	0
Média	2,4	0

Mesmo dobrando-se o peso da caixa, não houve alongação do elástico no caso de rolamento. Isto é, com uma força mínima a caixa já começava a andar. No caso de deslizamento com a metade do peso também não era possível uma boa determinação. Porém, com a massa total de 526 g utilizada nas experiências da Tabela 5 já foi possível obter um resultado satisfatório. Como a caixa se mexia livremente no caso do rolamento, podemos perceber a diferença no valor do atrito. Chegamos então à conclusão esperada de que o atrito de deslizamento é maior do que o de rolamento.

#### 4- Aula ministrada na Escola Sant'Anna, Vinhedo-SP

Foi preparado um conjunto de quatro aulas para serem ministradas ao primeiro ano do ensino médio como uma introdução ao tema atrito. Estas aulas foram ministradas na Escola Sant'Anna, da cidade de Vinhedo, estado de São Paulo.

O professor responsável por ministrar o curso de física para ambas as turmas é o prof. Ézio Penso, que participou ativamente das atividades. No laboratório obtivemos ajuda da professora responsável pelo laboratório didático, profa. Ana Maria.



Figura 17: Prof. Ézio, eu e a Profa. Ana Maria.

Um total de 61 alunos participaram das aulas, 30 da turma A e 31 da turma B. Cada turma foi dividida em nove grupos, de 3 ou 4 participantes cada grupo. Na primeira aula foi passado um questionário inicial aos alunos para que respondessem quais eram as suas idéias iniciais sobre o tema de acordo com suas experiências anteriores de vida. Esse questionário foi individualizado, apesar de alguns grupos responderem em conjunto. Na mesma aula os alunos divididos em grupo iniciaram a construção dos artefatos. No total dois grupos fizeram o experimento do rolamento, quatro grupos do disco flutuante, quatro grupos do arrastão, quatro grupos do peso e quatro grupos fizeram a experiência da lixa. Na segunda aula os alunos continuaram construindo os artefatos. Percebeu-se que eles não tinham muita experiência na parte prática e pediam ajuda constantemente. Nada foi adiantado aos alunos sobre o atrito, nem sobre quais eram os resultados finais esperados, de modo que eles só tinham suas próprias expectativas sobre o tema.





Figura 18: Alunos do ensino médio realizando as experiências sobre atrito.

Do meio para o final da segunda aula eles já sabiam fazer as medidas. Na terceira aula uma das turmas terminou cedo e pôde ser feita uma pequena apresentação dos resultados obtidos por cada grupo. Deixou-se que eles tentassem explicar os fatos ainda sem interferência dos professores, incluindo um pequeno debate entre os grupos. Na quarta e última aula, os alunos fizeram uma discussão em classe para buscar quais conclusões eles tiraram de todos os processos e quais outros tipos de atrito eles imaginavam que existiam. E em conjunto, eu e o Professor Ézio íamos fechando o assunto e tirando as dúvidas existentes, inclusive falando sobre os procedimentos experimentais e sobre a existência dos erros experimentais.



Figura 19: Alunos em sala discutindo os resultados.

Na turma B, como a demora para a construção dos artefatos foi maior, a discussão em sala ficou mais resumida e infelizmente menos produtiva. Em relação aos experimentos, o mais difícil de ser realizado foi o do disco flutuante. Apenas 2 dos 4 grupos conseguiram realizar com resultados corretos. A experiência da lixa e do peso não apresentaram muitas dificuldades para os alunos, e a maioria já imaginava o que iria influenciar no atrito, porém não todos. No experimento do rolamento os alunos não entenderam muito bem, no início do experimento, mas aceitaram os resultados e tentaram várias explicações diferentes. No geral a participação das duas turmas foi muito boa.

O experimento que gerou mais polêmica foi o da área. Os alunos que obtiveram o resultado experimental correto, ou seja, que o tamanho da área não influencia na força de atrito, achavam que estavam errando e viam pedir orientações. Mas nós dissemos que repetissem mais vezes a experiência e tirassem suas conclusões. Um dos grupos do arrastão obteve resultados experimentais incorretos (concluindo que o tamanho da área afetava na força de atrito) e como era isso mesmo que eles esperavam encontrar, não se interessaram em testar novamente.

## **5- Conclusão**

A base deste trabalho encontrada em [6] foi apenas o início de um trabalho que foi de fundamental importância na minha formação acadêmica. Além de aprender mais sobre a física, buscando novos materiais e formas para a construção dos artefatos, o aprendizado em sala de aula com os alunos foi muito enriquecedor. Tive a possibilidade de mostrar aos alunos uma atividade diferenciada e de ver as surpresas que estas experiências causaram neles. Isto mostra a necessidade de diversificação no ensino. Em relação aos experimentos em si, o que me chamou mais atenção, assim como aos alunos, foi o experimento da área. A experiência mostrou que o tamanho da área não influencia na força de atrito. Isto foi contra minha intuição inicial, assim como foi contra a expectativa dos alunos. Foi interessante notar na prática como o peso influencia no atrito, assim como a rugosidade da superfície. Na discussão com os alunos foi possível levantar que existem diversos tipos de atrito, além desses estudados aqui. Além disso a experiência mostrou que é possível com técnicas como a do colchão de ar diminuir esse efeito.

## **6- Agradecimentos**

Primeiramente desejo agradecer ao caro Prof. André Assis, que aceitou ser meu orientador neste projeto e que me recebeu sempre com muita atenção e boa vontade. Ao caro Prof. Lunazzi, coordenador desta disciplina, por suas aulas cheias de conselhos para que pudéssemos aproveitar melhor o curso e pela sua luta em favor da experimentação.

E finalmente um agradecimento por todo apoio da Escola Sant'Anna em Vinhedo que abriu espaço para que os alunos pudessem participar deste projeto. Em especial, à coordenadora de ensino médio Daniela, ao prof. Ézio Penso que gentilmente cedeu espaço de suas aulas de física para podermos fazer um pouco de física experimental, à responsável pelo laboratório didático, profa. Ana Maria, e também aos alunos que fizeram transformaram o significado deste trabalho em uma atividade realmente enriquecedora.

Muito obrigada!!

## 7- Bibliografia

- [1] <http://www.ifi.unicamp.br/~grad/f128/aulas/aula6.pdf>
- [2] Halliday, D., Resnick, R., Merrill, J., Fundamentos de Física 1 - Mecânica. 3ª ed. Rio de Janeiro, Editora LTC. Págs 97-108.
- [3] Goldemberg, J., Física Geral e Experimental. 3ª ed., 1977. Companhia Editora Nacional. Págs.160 e 161.
- [4] Alonso, M., Finn, E., Física - Um Curso universitário. Vol. 1. São Paulo. Editora Edgard Blucher LTDA. 1972. Págs. 160-162.
- [5] <http://www4.prossiga.br/lopes/prodcien/fisicanaescola/cap1-4.html>.
- [6] As experiências foram encontradas no site:  
[http://www4.fc.unesp.br/experimentosdefisica/mec\\_list.htm](http://www4.fc.unesp.br/experimentosdefisica/mec_list.htm)
- [7] <http://www.ufsm.br/gef/LeiNew.htm>
- [8] Fotos da aula no colégio Sant'Anna.
- [9] Conteúdo utilizado com o Ensino Médio.

Estão anexados os conteúdos das referências 1, 6, 7, 8 e 9. E a cópia do projeto.

## 8- Apêndices

### A) Questionário Inicial

O que você já sabe sobre o atrito?

Pense a respeito e responda as perguntas abaixo. As respostas não são certas ou erradas, o importante é colocar o que você acha sobre o assunto. Responda todas!!!

1. Será que o atrito depende do tipo das superfícies que estão em contato?
2. Será que a força de atrito depende do peso do corpo?
3. Será que a força de atrito depende do tamanho da área de contato entre as duas superfícies que estão interagindo?
4. Qual é a influência que o atrito exerce sobre o movimento de um corpo?
5. Será que o atrito quando deslizamos um corpo sobre o outro é diferente do atrito de quando rolamos um corpo sobre o outro?

### B) LIXA

Objetivo: Buscar relações entre a força de atrito e as superfícies em contato.

#### Material

Caixa de madeira  
Elásticos de vários tipos  
Cartolina  
Fita adesiva  
Cola branca  
Lixas, pelo menos dois tipos.  
Tachinhas  
Papel sulfite  
Papelão  
Régua  
Lápis

#### Montagem

- Prenda o elástico na caixinha de madeira usando a tachinha.
- Recorte um pedaço de papelão do mesmo tamanho da cartolina e cole a cartolina sobre o papelão. Prenda o papelão na mesa.
- Separe a cartolina em três partes, cole a lixa sobre um dos terços da cartolina.
- Gradue separadamente o centro de cada parte.
- Pese a caixinha.
- Arrume a caixa na parte graduada da cartolina sem a lixa, meça a posição inicial do elástico e a final, puxe o elástico preso à caixinha até a iminência do movimento e anote sua dilatação.
- Ponha a caixinha de madeira sobre as folhas de lixa e repita o procedimento anterior.
- Repita cada experimento 5 vezes. Anote os resultados.

### C) PESO

Objetivo: O experimento busca analisar se há relação entre a força de atrito que age em um objeto e o peso desse objeto.

#### Material

Caixa de madeira  
Elásticos de vários tipos  
Cartolina  
Fita adesiva  
Saquinhos ou copinhos de plástico.  
Areia ou pedra  
Tachinhas  
Papel sulfite  
Papelão  
Régua  
Lápis

#### Montagem

- Faça uma reta graduada na cartolina, cole o conjunto em um pedaço de papelão de mesmo tamanho.
- Ponha a caixa de madeira sobre a cartolina graduada.
- Prenda o elástico à caixa com ajuda da tachinha.
- Pese a caixa.
- Faça 9 pesos com saquinhos e areia ou pedra de mesmo peso da caixa cada um.
- Coloque a caixa sobre a cartolina graduada, meça a posição inicial. Puxe até a iminência de movimento. Anote o valor.
- Coloque um peso dentro da caixa e repita o procedimento anterior.
- Vá colocando mais pesos e repetindo o procedimento até acabar os pesos.
- Faça 5 repetições com cada peso. Lembre-se de sempre anotar os valores.
- Teste os elásticos para ver qual é o mais adequado.

## D) ARRASTÃO

Objetivo: O experimento busca se há relação entre a força de atrito que age em um objeto e sua área de contato com a superfície em que desliza.

#### Material

Caixas de CD ou blocos de madeira de mesma área.  
Elásticos de vários tipos  
Cartolina  
Fita adesiva  
Cola branca  
Tachinhas  
Papel sulfite  
Papelão  
Régua  
Lápis

## Montagem

- Com fita adesiva, prenda cinco caixas de CD (ou cinco blocos de madeira de mesma área) de modo que elas possam ser dobradas sobre si mesmas.
- Prenda um dos elásticos na primeira caixa. Teste qual tipo de elástico é mais adequado, notando se é possível ver sua distensão antes que o conjunto entre em movimento.
- Faça uma reta graduada na cartolina, cole o conjunto em um pedaço de papelão de mesmo tamanho.
- Coloque o artefato aberto sobre a reta graduada, isto é, com as cinco caixas em contato com a cartolina.
- Puxe o elástico até que ele fique esticado, porém não distendido, marque a posição inicial do elástico.
- Puxe o elástico até que o conjunto esteja quase se movendo. Registre o quanto o elástico esticou. Repita mais 5 vezes e faça uma média dos valores registrados.
- Repita o procedimento para respectivamente 4, 3, 2 e 1 área em contato com a cartolina, sempre com 5 repetições da experiência em cada situação.
- Anote todos os resultados.

## E) DISCO FLUTUANTE

Objetivo: Mostrar a influência que o atrito exerce sobre o movimento de um objeto.

### Material

Cartolina  
Fita adesiva  
Cola branca  
Tachinhas  
Papel sulfite  
Papelão  
Régua  
Lápis  
Compasso

### Montagem

- Corte o papelão em forma de disco, com um diâmetro aproximadamente de 10 cm e com um furo no centro de aproximadamente 2 mm de diâmetro.
- Corte três discos de cartolina: o primeiro com aproximadamente 6 cm de diâmetro e um furo central de 2 mm de diâmetro; o segundo e o terceiro com 4 e 2 cm de diâmetro, respectivamente, com furos centrais com o mesmo diâmetro do corpo da tampa do fundo da caneta bic (aproximadamente 4 mm).
- Cole o maior círculo de cartolina sobre o papelão, de forma que os furos centrais coincidam. Faça um furo no fundo da tampinha vedante da caneta bic (a tampinha do fundo da caneta), com um alfinete com aproximadamente 2 mm de diâmetro. Cole a tampinha de base para baixo sobre o primeiro pedaço de cartolina já colado anteriormente, de forma a coincidirem os furos centrais. Encaixe e cole sobre a tampinha o segundo e o terceiro discos de cartolina.
- Faça uma reta graduada na cartolina, cole o conjunto em um pedaço de papelão de mesmo tamanho.

- Para vedação, cole um pedaço de fita adesiva no furo existente no tubo da caneta.
- Prenda a bexiga no fundo do tubo da caneta, também com fita adesiva. Toda vez que precisar encher a bexiga basta retirar o tubo da caneta do encaixe.
- Coloque o artefato com o balão vazio sobre a cartolina graduada.
- Marque a posição. Dê um peteleco na direção da reta graduada. Anote a posição que o artefato parou. Repita o procedimento 5 vezes. Anote os resultados.
- Encha o balão. Repita o procedimento anterior.
- Teste com qual tamanho de balão o procedimento parece dar mais certo. Pense sobre os motivos.

## F) ROLAMENTO

Objetivo: O experimento deseja buscar se a força de atrito que aparece numa situação de rolamento é diferente do que a força de atrito que aparece numa situação de deslizamento.

### Material

Caixa de madeira  
 Elásticos de vários tipos  
 Cartolina  
 Fita adesiva  
 Tachinhas  
 Papel sulfite  
 Papelão  
 Régua  
 Lápis  
 Borracha  
 Pedra ou areia.

### Montagem

- Faça uma reta graduada na cartolina, cole o conjunto em um pedaço de papelão de mesmo tamanho.
- Prenda o elástico na caixa de madeira usando a tachinha.
- Prenda todos os lápis como em um tapete usando fita adesiva.
- Deixe o "tapete" que você fez sobre a cartolina graduada, e ponha por cima deles a caixa de madeira.
- Marque a posição do elástico.
- Puxe o elástico até a iminência do movimento, anote sua dilatação.
- Solte o tapete de lápis.
- Espalhe os lápis sobre a mesa e os alinhe deitados um ao lado do outro.
- Ponha uma borracha escolar no começo e outra no final da fileira de lápis para que não caiam da mesa.
- Coloque a caixa de madeira sobre os lápis espalhados.
- Puxe o elástico até a iminência do movimento da caixa e então verifique o quanto o elástico esticou.
- Repita cada procedimento 3 vezes. Anote os resultados.

- Obs: se necessário coloque areia ou pedra dentro da caixa, após definir a quantidade pese o artefato.

### **G) Relatório final**

Dados

Nome:

Série:

Turma:

Experimento realizado:

Materiais: Escreva caso tenha utilizado elementos além dos especificados:

Métodos: caso tenham divergido dos especificados, que variações você fez?

Faça uma tabela com os valores obtidos.

Conclusão: O que você aprendeu com o seu experimento?

O que você aprendeu com os experimentos de seus colegas?

### **Questionário final:**

1. Se você fez experimentos com elástico, qual você preferiu utilizar? Porque?
2. Se você utilizou balões, qual tamanho de balão foi mais adequado ao seu experimento?
3. O que acontece com o atrito quando aumentamos o peso?
4. O que acontece com o atrito quando mudamos a área?
5. O que acontece com o atrito quando rolamos um objeto, ou quando deslizamos? É a mesma coisa? Porque?
6. O que um colchão de ar entre duas superfícies modifica no atrito?
7. Qual a diferença entre o atrito em uma superfície lisa ou rugosa?
8. Quais dúvidas que você tem sobre o tema atrito?
9. Existem outros tipos de atrito? Quais?