

# Universidade Estadual de Campinas

## Instituto de Física “Gleb Wataghin”

F 809 - Instrumentação para o Ensino

# Experimentos de Eletrostática de Baixo Custo para o Ensino Médio



**Aluno:** Geraldo Magela Severino Vasconcelos R.A.: 016171 <sup>1</sup>

**Orientador:** Prof. Dr. André Koch Torres de Assis <sup>2</sup>

**Coordenador:** Prof. Dr. José Joaquim Lunazzi <sup>3</sup>



Campinas, 26 de novembro de 2005

---

<sup>1</sup>[geraldovasconcelos@yahoo.com.br](mailto:geraldovasconcelos@yahoo.com.br)

<sup>2</sup>[assis@ifi.unicamp.br](mailto:assis@ifi.unicamp.br) <http://www.ifi.unicamp.br/~assis>

<sup>3</sup>[lunazzi@ifi.unicamp.br](mailto:lunazzi@ifi.unicamp.br) <http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi>

# Sumário

<b>Resumo</b>	<b>3</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>3</b>
<b>2 Um Pouco de História</b>	<b>4</b>
2.1 William Gilbert . . . . .	4
2.2 <i>De Magnete</i> . . . . .	6
2.3 Versorium . . . . .	7
<b>3 Parte Experimental</b>	<b>9</b>
3.1 Materiais Utilizados . . . . .	9
3.2 Experimentos com o Versorium . . . . .	9
3.2.1 Distinção entre Interação Elétrica e Magnética . . . . .	11
3.2.2 Verificação se um Corpo Está Carregado ou Não . . . . .	13
3.2.3 Caráter Vetorial da Força Elétrica . . . . .	13
3.2.4 Mapeamento do Campo Elétrico . . . . .	14
3.2.5 Interação Entre Versoriums . . . . .	16
3.3 Experimentos com Fita Adesiva . . . . .	17
3.3.1 Preparação das Fitas . . . . .	17
3.3.2 Interação entre as Fitas . . . . .	18
3.3.3 Interação das Fitas com Outros Corpos . . . . .	20
3.3.4 Fita Adesiva: Condutora ou Isolante? . . . . .	20
3.3.5 Construção de um Dipolo Elétrico . . . . .	22
3.3.6 Interação das Fitas Através de um Pedaco de Papel . . . . .	22
<b>4 Discussão</b>	<b>24</b>
<b>5 Conclusão</b>	<b>25</b>
<b>6 Comentários do Coordenador</b>	<b>26</b>
<b>Referências</b>	<b>27</b>
<b>Anexo</b>	<b>28</b>

# Experimentos de Eletrostática de Baixo Custo para o Ensino Médio

## Resumo

Esse é um trabalho onde apresenta-se uma série de experimentos de eletrostática que podem ser facilmente realizados. São feitos a partir de materiais de baixo custo e simples manuseio, possibilitando a um professor de ensino médio sua realização em sala de aula. São experimentos que promovem uma discussão sobre os fenômenos eletrostáticos e que servem também como motivação para a explicação da teoria por trás dos experimentos. Neste trabalho está descrito a utilização do versorium de Gilbert, que foi o primeiro instrumento construído com o propósito de pesquisar a interação elétrica. Este fenômeno já era conhecido a bastante tempo (uns dois mil anos), mas não era explicado cientificamente. Serão mostradas também outras aplicações com o versorium que não foram descritas por Gilbert. Na segunda parte do trabalho são apresentados uma série de experimentos com fita adesiva, tipo durex.

## 1 Introdução

A eletricidade é um fenômeno que desperta interesse na humanidade desde a antiguidade. Ao redor de 600 a. C. os gregos já sabiam que atritando o âmbar (resina amarelada) com pele de animais era possível atrair partículas leves. Em 1600 William Gilbert, com o livro *De Magnete*, [Gilbert, 1958], apresenta a construção do versorium, considerado o primeiro aparelho para o estudo da eletrostática, descrevendo diversas experiências com ele.

Hoje sabe-se que toda matéria é constituída de átomos, que por sua vez são formados de partículas que apresentam cargas positiva e negativa: prótons e elétrons, respectivamente. A interação entre cargas é denominada “elétrica”, sendo muitas ordens de grandeza maior do que a interação gravitacional. O eletromagnetismo é uma interação fundamental, muito mais importante que a gravitação no domínio que nos é mais familiar, sendo a interação eletromagnética aquela que compreendemos melhor [Nussenzveig, 2001]. As forças elétricas podem ser atrativas ou repulsivas, dependendo apenas de quais cargas estão interagindo. Cargas de mesmo sinal se repelem e de sinais opostos se atraem.

Na forma “natural” a matéria apresenta-se neutra, ou seja, possui o mesmo número de cargas positiva e negativa cancelando assim os efeitos de interações elétricas (considerando os dois corpos neutros) [Chabay e Sherwood, 2002]. No entanto, é possível remover ou adicionar partículas negativas, elétrons, o que acarretará um desequilíbrio entre o número de cargas positiva e negativa. A carga líquida num material é a soma das cargas positivas e negativas, sendo que a carga total terá o sinal daquela em maior quantidade. Nesses processos de troca de carga entre corpos sempre há conservação da carga elétrica total, ou seja, se algum corpo perde carga negativa um outro deve recebê-la. Existem três processos principais pelos quais os materiais são eletrizados: atrito, contato e indução.

Tem-se como objetivo neste trabalho apresentar experimentos de simples manuseio e baixo custo que possam ser aplicados em sala de aula nos cursos de eletrostática para o ensino médio. Será dividido basicamente em duas partes. Na primeira parte será estudado o versorium de Gilbert, [Ferreira, 2005(a)], [Ferreira, 2005(b)] e [Ferreira, 2005(c)]; e na segunda parte realizaremos uma série de experimentos com durex, [Chabay e Sherwood, 2002]. Os fenômenos a serem mostrados neste trabalho: eletrização por atrito, eletrização por contato, atração, repulsão, conservação da

carga elétrica, construção de um dipolo, descarga de corpos carregados, verificação se um corpo encontra-se eletrizado usando um versorium, diferenciação de forças elétricas e magnéticas, assim como o caráter vetorial da força elétrica e mapeamento do campo elétrico de um cilindro carregado e de uma placa plana carregada.

Neste relatório serão apresentados primeiramente os experimentos com o versorium, mostrando um pouco de sua história e como o mesmo pode ser aperfeiçoado para observar outros fenômenos, além daqueles analisados por Gilbert. Em segundo lugar serão mostrados os vários experimentos com dures, desde sua preparação e funcionamento, até uma explicação do fenômeno envolvido.

## 2 Um Pouco de História

### 2.1 William Gilbert

William Gilbert era inglês. Nasceu em Colchester (pequena cidade da Inglaterra) em 1540 e morreu no ano de 1603. Era o primogênito dos cinco filhos de Jerome Gilbert, magistrado muito considerado na cidade. Gilbert ingressou bem cedo na escola. Em 1558 ingressou no St. John's College, de Cambridge, onde estudou durante onze anos, revelando grande aptidão pelas disciplinas científicas. Em 1565, foi nomeado examinador de matemática e quatro anos mais tarde recebeu o título de doutor em medicina. Exerceu sua função de médico na Itália fazendo amizades com muitos estudiosos. Em 1573 regressou a Londres e ingressou no *Colégio Real de Médicos*, onde ocupou cargos de notável importância, como: censor, tesoureiro e presidente. Também foi membro do comitê para redação da "Pharmacopaeia Londoniensis", publicada em 1618. O renome de Gilbert como médico cresceu tanto, que a rainha Elizabeth I o convidou para tratar exclusivamente dela <sup>4</sup>.



Figura 1: William Gilbert.

Porém, o que fez com que Gilbert marcasse seu nome na história não foi o fato dele ter sido médico particular da rainha, mas sim suas contribuições para a eletricidade e, principalmente, para o magnetismo. Em 1600 publica sua obra, cujo título original em latim é: "*De Magnete, Magneticisque Corporibus et de Magno Manete Tellure.*" [Magalhães, 2000], sendo que sua tradução para

<sup>4</sup>Ver referência no site: <http://chem.ch.huji.ac.il/~eugeniik/history/gilbert.html>

português fica: **“Sobre os ímãs, corpos magnéticos e sobre o grande íma, Terra.”** Logo nos seus primeiros capítulos, Gilbert coloca sua posição crítica diante das obras dos antigos (julga-os incapazes de elaborar o material empírico) e também ataca os contemporâneos (dizendo que eles não fazem mais que remanejar e dissertar sobre os dogmas das doutrinas de Aristóteles).

*“Nossa geração tem produzido muitos trabalhos sobre o oculto, obscuro, causas ocultas e maravilhas, e em todas elas o âmbar e o azeviche são representados como um atrator de pedaços de palha, mas nunca nenhuma prova a partir de experimentos, nunca uma demonstração você acha neles. Os escritores espalham apenas palavras que envolvem o assunto muito grosseiramente; tratam-os como: exotéricos, milagrosos, obscuros, ocultos e místicos.”*<sup>5</sup>

O maior mérito de sua obra consiste justamente em apresentar mais de seiscentas experiências, sendo que algumas foram feitas por seus predecessores e outras foram realizadas por ele mesmo. Gilbert foi quem batizou várias coisas e fenômenos que conhecemos hoje. Por exemplo, ele foi o primeiro a chamar de pólos as extremidades da agulha de uma bússola; definiu como magnéticos os corpos que são atraídos por um ímã; classificou materiais como elétricos e não-elétricos, usando para isso o versorium por ele construído; e também foi o primeiro a usar o termo eletricidade, para se referir aos efeitos percebidos pelo seu versorium, quando aproximava dele objetos eletricamente carregados. Cabe a Gilbert o mérito da distinção entre *magnetismo* e *eletricidade*.

A mais importante contribuição de Gilbert foi com respeito ao magnetismo, principalmente o terrestre. Ele utilizou um ímã esférico, que chamou de “Terrella” (Terra pequena, considerando-o análogo ao planeta Terra). Ele apoiava uma agulha magnetizada sobre a superfície deste ímã esférico, sendo que esta agulha era livre para girar e se orientar devido à atração magnética do ímã. Ele estudou as propriedades magnéticas deste pequeno ímã esférico e descobriu que correspondiam às da Terra, conseguindo com isso explicar a direção norte-sul da agulha magnética, sua inclinação, definir o eixo de um ímã e as linhas de força da Terra. Como já citado na introdução, os fenômenos elétricos e magnéticos já eram conhecidos pelos gregos e romanos, mas estes não atingiram o nível da explicação científica (por exemplo, acreditavam que o ferro tinha anéis para prender pequenos ganchos dos ímãs). Gilbert rejeitou todas as explicações mágicas, desenvolvendo uma idéia que exercerá enorme influência sobre Kepler e Newton: os corpos atraem-se em virtude de uma força física, que pode ser medida e estudada. A influência das novas idéias de Gilbert foi extensa e profunda, tendo provocado grande interesse e fazendo desse médico um homem famoso em toda a Europa. Galileu proclamou-se fervoroso admirador do médico inglês e mesmo aristotélicos como Nicolau Cabeo e Atanasius Kircher foram seus discípulos. Em sua casa em Colchester, Gilbert costumava reunir um grupo de estudiosos para debater todos os problemas da época. Gilbert mostrava grande interesse nas reuniões, fazendo com que essas se tornassem regulares. Foram elas que levaram à formação da Royal Society, instituição que exerceu papel fundamental no desenvolvimento da ciência inglesa. Gilbert nunca se casou e não se sabe exatamente como morreu. Sua morte ocorreu no ano de 1603, durante uma peste. Como legado ao Colégio dos Médicos, deixou a biblioteca e as coleções, infelizmente destruídas durante o grande incêndio de Londres, em 1666. O novo espírito científico, no entanto, permaneceria para sempre.

<sup>5</sup>Extraído da obra de Gilbert, “*De Magnete*”, pág. 77.

## 2.2 De Magnete

Em 1600 Gilbert publicou sua obra, *De Magnete*, tratando as questões de eletricidade e magnetismo. Nessa obra, ele expõe claramente sua crítica tanto às obras dos antigos, quanto às dos contemporâneos. Essa obra é dividida em seis livros onde Gilbert desenvolveu uma completa teoria diferenciando as forças elétrica e magnética, e também fez um estudo sistemático dos cinco movimentos magnéticos. No livro I, relata a história do magnetismo, indo das antigas fábulas sobre a pedra-ímã aos fatos e teorias conhecidas por seus contemporâneos, [Magalhães, 2000]. Nos outros livros discute sobre os cinco movimentos magnéticos: **cópula, direção, variação, declinação e revolução**. Da discussão em torno da cópula magnética <sup>6</sup>, ele distinguiu com cuidado a atração devida ao efeito âmbar daquele causado por um ímã. Introduziu o vocábulo *elétrico*, estabelecendo as diferenças entre os corpos elétricos e os magnéticos. O termo elétrico vem de *elektron* que em grego significa âmbar <sup>7</sup>.

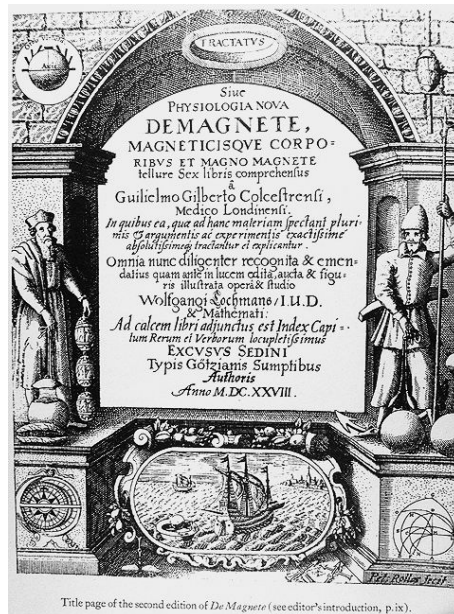


Figura 2: Capa do livro *De Magnete* de William Gilbert.

A distinção feita por Gilbert entre o fenômeno magnético e o efeito âmbar baseava-se na diferença entre suas causas, ou seja uma causa material para explicar o efeito âmbar e outra formal para a atração magnética [Magalhães, 2000]. As substâncias que tinham sido formadas de matéria fluida e úmida a partir da terra, depois de solidificarem, apresentariam comportamento análogo ao âmbar ao ser atritado. Os corpos conhecidos capazes de eletrizar eram, em sua maioria, duros e transparentes. Isso levou Gilbert à idéia de que eram formados pela consolidação de líquidos aquosos. Concluiu que devia existir um humor particular relacionado com as propriedades dos corpos elétricos [Magalhães, 2000]. Gilbert explicava que a eletrização por atrito ocorria porque excitaria e liberaria esse humor, emanando do corpo elétrico em forma de eflúvio, criando uma atmosfera favorável a atração. Isso era tão sutil que não era percebido pelos nossos sentidos. Com isso conseguiu explicar a interação,

<sup>6</sup>Cópula magnética é usada por Gilbert no lugar de atração magnética pois os movimentos magnéticos não resultam da atração exercida por um único corpo, mas sim pela aproximação dos dois corpos harmoniosamente, um impulso levando à união magnética.

<sup>7</sup>Resina amarelada que desencadeou todo o interesse e desenvolvimento dos fenômenos elétricos.

pois era necessário a existência de um meio, sendo que nessa época acreditava firmemente que a matéria atuaria somente na existência de um meio. Também com respeito ao processo de eletrização por atrito, tinha-se uma dúvida, pois ao friccionar os objetos esses esquentavam, e não se sabia se o calor é que gerava a força de atração. Porém Gilbert, com seu versorium, conseguiu mostrar que não era o calor responsável pela atração, pois ele fez o experimento atritando o âmbar e depois apenas esquentando um outro pedaço de âmbar (sem friccioná-lo), sendo que este último não apresentava efeitos de atração [Ferreira, 2005(a)].

*“Agora o âmbar não atrai devido ao calor, pois quando esquentado no fogo e levado próximo à palha, se está meramente aquecido, ou se está quente, ou mesmo quente ao ponto de queimar, ou se atingiu o ponto incandescente, ele não tem atração.”*<sup>8</sup>

Nessa sua obra, Gilbert também fala sobre o Versorium criado por ele para investigar a natureza das forças. Maiores detalhes sobre esse instrumento são apresentados na próxima seção.

### 2.3 Versorium

O instrumento mais antigo usado como um eletroscópio foi o versorium construído por Gilbert. Versorium é uma palavra latina que significa *girar*. Gilbert o chamou assim, pois ele girava na direção dos corpos eletrizados, apontando para eles. Gilbert construiu seu aparelho usando os mesmos princípios utilizados numa bússola. Esse aparelho era feito com uma haste metálica muito leve, cuja parte central era apoiada numa espécie de alfinete pontiagudo. A haste tinha uma forma de flecha para que se soubesse em que direção apontava. Com esse versorium, Gilbert pesquisou as atrações dos corpos carregados eletricamente. Ao construir esse equipamento, ele queria ter um instrumento capaz de perceber a atração elétrica com maior sensibilidade. A figura 3 ilustra o primeiro versorium construído.



Figura 3: Versorium de Gilbert.

*“Agora, para entender claramente por meio da experiência como ocorre tal atração, e quais podem ser as substâncias que atraem outros corpos (...), faça você mesmo uma agulha girante (eletroscópio - versorium) de qualquer tipo de metal, de três ou quatro dedos de comprimento, bem leve e equilibrada numa ponta fina da mesma maneira que uma bússola. Traga próximo a uma de suas extremidades um pedaço de âmbar ou pedra preciosa, levemente atritada, polida e brilhante: e o instrumento irá girar imediatamente.”*<sup>9</sup>

Para realizar os experimentos com o versorium, Gilbert trazia a substância atritada próxima ao versorium. Se ocorresse um giro da agulha a substância era chamada de elétrica, caso contrário, era chamada de não-elétrica. A agulha do versorium era feita inicialmente de um metal claro,

<sup>8</sup>Extraído da obra de Gilbert, “*De Magnete*”, pág. 80.

<sup>9</sup>Extraído da obra de Gilbert, “*De Magnete*”, pág. 79.

não magnetizado, equilibrado num pino. Porém existiam outras versões do versorium nas quais Gilbert substituiu a agulha metálica por palha [Medeiros, 2002]. Ele investigou várias substâncias, conseguindo formar uma lista das que eram elétricas e não-elétricas. Abaixo temos a relação de algumas delas:

Corpos não-elétricos	}	esmeralda
		ágata
		corneliana
		pérola
		jaspe
		alabastro
		coral
		mármore
		marfim
		madrepérola
		madeiras duras (ébano, cedro, junipero, cipreste)
		metais (prata, ouro, cobre e ferro)
		pedra-ímã
Corpos elétricos	}	âmbar
		azeviche
		diamante
		safira
		carbúnculo
		quartzo irisado
		opala
		ametista
		berilo
		cristal de rocha
		enxofre
		vidro claro e brilhante
		lacre
		resina dura
mica		
pedra-ume		

Alguns desses materiais chamados por Gilbert de não-elétricos são conhecido hoje em dia como condutores (se comportam como condutores quando submetidos a altas voltagens). O que acontecia era que ao serem atritados, a carga não ficava neles, sendo descarregados pelo contato com a mão. Já alguns dos corpos denominados por Gilbert como sendo elétricos são chamados hoje em dia de isolantes. Eles não perdiam a carga adquirida no atrito. Com a descoberta e com o conceito de materiais elétricos, a eletricidade deixa de ser vista apenas como uma propriedade de um único corpo, o âmbar, passando a ser considerada como uma propriedade de vários corpos na natureza. A partir de então os fenômenos elétricos e magnéticos passaram a ser melhor estudados e novos instrumentos foram feitos para esse propósito.

*“Não somente o âmbar e o azeviche, como eles supõem, atraem corpúsculos (substâncias) leves.*



*O mesmo é feito por diamante, safira, carbúnculo, pedra da íris, opala, ametista, vincentina, pedra preciosa inglesa, berilo, cristal de rocha.”*<sup>10</sup>

### 3 Parte Experimental

A seguir será descrito como os experimentos foram realizados, com uma explicação para os fenômenos envolvidos. Os experimentos estão divididos em duas partes, sendo a primeira a construção de versoriums de diversos materiais. Eles serão utilizados para a observação de vários fenômenos elétricos. A segunda parte consiste de uma série de experimentos com fita adesiva, tipo durex, a fim de mostrar outros fenômenos eletrostáticos.

#### 3.1 Materiais Utilizados

A seguir está apresentada a lista com os materiais necessários para cada uma das montagens:

Experimentos com durex	<ul style="list-style-type: none"> <li>{ Fita adesiva, tipo durex</li> <li>{ Caneta</li> <li>{ Pente</li> <li>{ Papel comum (folha sulfite)</li> <li>{ Fio de seda</li> </ul>	Versorium	<ul style="list-style-type: none"> <li>{ Colchete de aço tipo bailarina</li> <li>{ Alfinete</li> <li>{ Canudinho de refrigerante</li> <li>{ Rolha de cortiça</li> <li>{ Agulha</li> <li>{ Prego</li> <li>{ Martelo</li> <li>{ Ímã</li> <li>{ Lata de refrigerante</li> <li>{ Massa de modelar</li> <li>{ Plástico</li> <li>{ Flanela</li> <li>{ Fio de cobre</li> <li>{ Níquel</li> <li>{ Palha</li> </ul>
------------------------	---	-----------	--

A figura 4 a seguir mostra fotografias dos materiais necessários para cada uma das montagens.

#### 3.2 Experimentos com o Versorium

Como já citado anteriormente, o versorium foi o primeiro instrumento construído com o objetivo de verificar os fenômenos de eletrostática. Foram montados versoriums de aço (colchete tipo bailarina), alumínio, plástico, palha, níquel e cobre. Gilbert inicialmente queria distinguir interação elétrica de magnética, então a idéia foi mostrar como esses diferentes materiais reagem na presença do ímã e de um objeto carregado eletricamente.

Para a montagem do versorium, basta cortar uma rolha de cortiça (mais ou menos pela metade), atravessá-la com uma agulha ou um prego e apoiá-la sobre uma base feita com massa de modelar (isso evita que a rolha tombe durante o experimento). Sobre a ponta dessa agulha ou prego equilibra-se

<sup>10</sup>Extraído da obra de Gilbert, “*De Magnete*”, pág. 77.

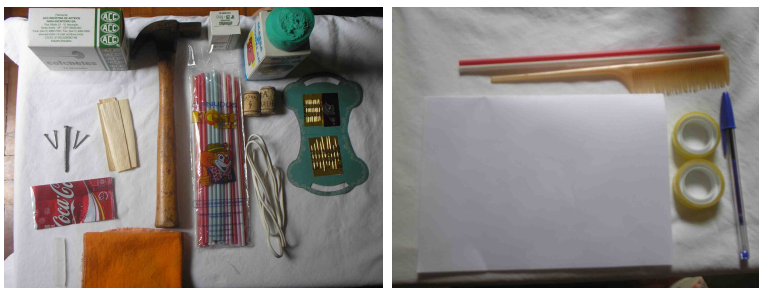


Figura 4: Na primeira foto temos os materiais necessários para as montagens do versorium; na segunda os materiais dos experimentos com durex.

uma haste de alumínio, ou o colchete bailarina, ou canudinhos de refrigerante dobrados ao meio. No caso do colchete, ajuda deformar um pouco o centro da parte circular, que vai ficar apoiado sobre a agulha, batendo um prego com um martelo, sem chegar a furar o colchete. Isto evita que o colchete fique escorregando na agulha. O mesmo pode ser feito na haste de alumínio. A sequência de fotos a seguir, figura 5, ilustra os passos que devem ser seguidos para montar um versorium, onde temos a agulha fixa na rolha e o versorium é equilibrado sobre esta agulha.

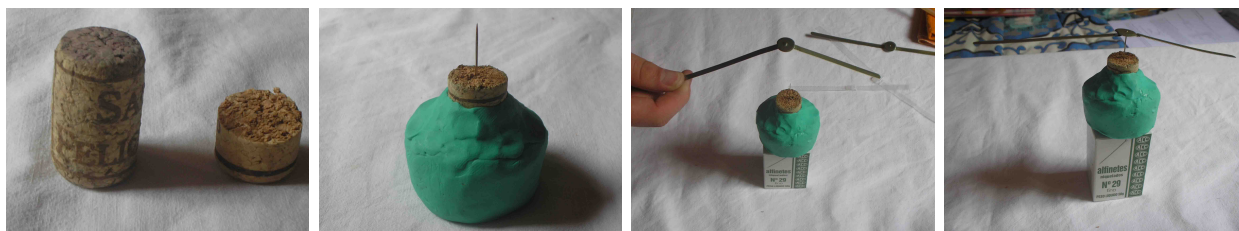


Figura 5: Sequência de passos que devem ser seguidos para montagem de um dos tipos de versorium. A primeira foto ilustra a rolha de cortiça cortada ao meio; a segunda, a agulha fixada na rolha e a rolha presa na base de modelar; na terceira temos um versorium de aço (colchete tipo bailarina) sendo apoiado na agulha e na última foto temos um versorium montado.

A figura 6 ilustra um exemplo onde substituímos a agulha de aço do versorium por um canudinho de refrigerante chanfrado. O procedimento de montagem é semelhante ao anterior, porém aqui é desnecessário a rolha de cortiça e a agulha é substituída pelo canudinho. Esse tipo de versorium serve para montagens nas quais estamos interessados em eletrizar o versorium por indução.



Figura 6: Versorium de alumínio montado sobre uma “agulha” de canudinho de plástico.

Em um terceiro modelo de versorium construído, fixamos um alfinete no próprio versorium (no caso de versorium de plástico) e apoiamos o alfinete sobre a cabeça de um prego que foi fixado numa

rolha de cortiça. Para evitar que o versorium tombe é necessário que seu centro de gravidade fique abaixo da ponta do alfinete. Para obter isto basta inclinar para baixo os dois braços do versorium. Caso necessário, pode-se também subir o alfinete preso ao versorium, deixando-o mais curto. A figura 7 ilustra esse modelo.

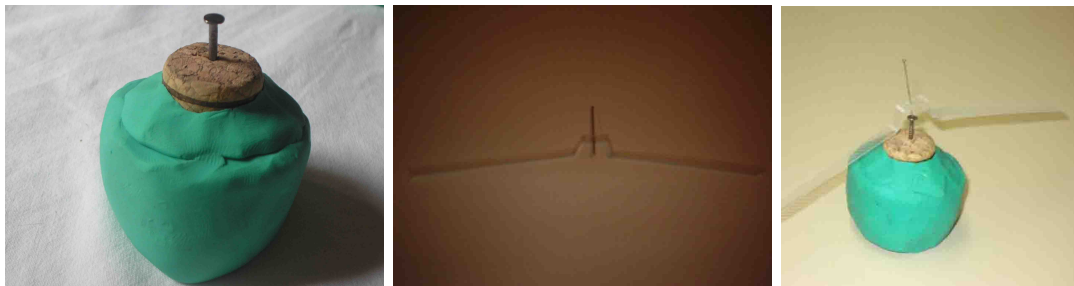


Figura 7: Na primeira foto temos a base para o versorium de plástico com um prego preso à rolha; na segunda, o versorium de plástico com o alfinete preso nele; e na última foto esse versorium montado com o alfinete equilibrando-se sobre a cabeça do prego.

Na figura 8 temos algumas fotos dos versoriuns que foram montados e trabalhado no experimento.

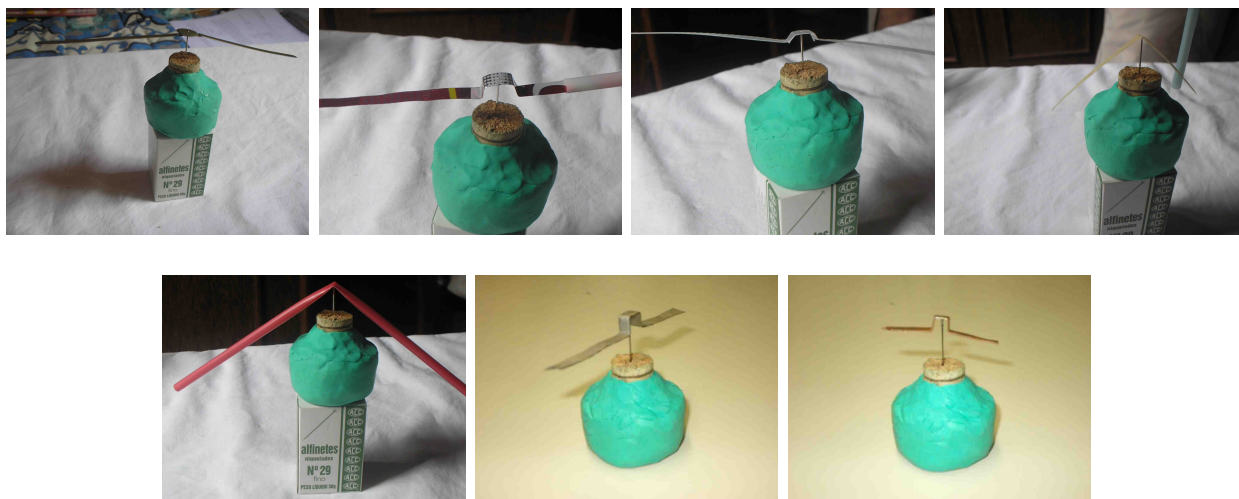


Figura 8: Seqüência de versoriuns: aço (colchete tipo bailarina), alumínio (lata de refrigerante), plástico, palha, canudinho de refrigerante, níquel e cobre.

Na discussão será mostrado quais experimentos do versorium foram realizados por Gilbert, e quais foram acrescentados. Os versoriuns podem ter várias aplicações, além de apenas dizer se um corpo se encontra carregado eletricamente.

### 3.2.1 Distinção entre Interação Elétrica e Magnética

Um dos primeiros estudos de Gilbert foi mostrar a diferença existente entre a interação elétrica e a magnética. Para distinguir efeitos elétricos de magnéticos usamos versoriuns de aço (colchete tipo bailarina), alumínio (lata de refrigerante), plástico, palha e cobre. Com o versorium montado aproximava-se de cada um deles um ímã. Se ocorrer giro no versorium, temos efeito magnético, caso contrário, não. Dentre os materiais usados apenas o colchete se movimenta com a aproximação de

um ímã, pois é feito de aço (contém ferro). Materiais de ferro, assim como de níquel e de cobalto são ferromagnéticos, ou sejam, respondem a um campo magnético. Após ter sido feito o experimento com esses versoriuns, também construímos um versorium de níquel, para mostrar que esse material apresenta interação magnética. A fotografia na figura 9 ilustra os versoriuns de aço (colchete tipo bailarina) e o de níquel sendo atraídos pelo ímã.

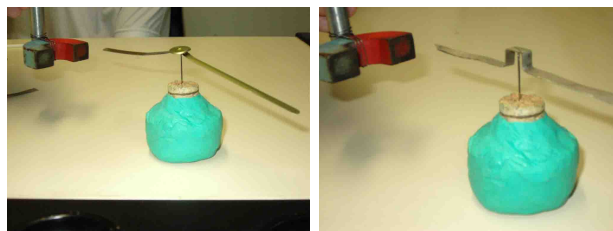


Figura 9: Versoriuns de aço e níquel sendo atraído por um ímã.

Para perceber a interação elétrica, atrita-se um canudinho de plástico na flanela para que o mesmo fique eletrizado. Esse é um tipo de eletrização por atrito, ou seja, são trocados elétrons entre os dois corpos, um cede e o outro recebe, conservando sempre a carga total. O que recebe fica carregado *negativamente* e o outro *positivamente*. Ao aproximarmos o canudinho carregado próximo a qualquer um dos versoriuns, o versorium é atraído. Ou seja, o versorium gira em direção ao canudinho atritado. A atração entre um corpo carregado (o canudinho atritado) e outro neutro (o versorium), se deve à polarização elétrica que ocorre no corpo neutro devido à presença do corpo carregado. Vamos supor que o corpo atritado fique carregado negativamente. Ao aproximá-lo do versorium este se polariza eletricamente. A extremidade do versorium mais próxima do canudinho atritado fica carregada positivamente, enquanto que a outra extremidade do versorium fica carregada negativamente (para simplificar estamos supondo nesta análise que as cargas não escapam pela agulha condutora). As cargas de sinal oposto ao corpo carregado estão mais próximas do canudinho carregado do que as cargas de sinal igual ao objeto carregado. Logo, como a força elétrica é inversamente proporcional ao quadrado da distância, quanto menor a distância maior a força. Concluindo, a força de atração nesse caso (entre o canudinho carregado e a extremidade do versorium carregada com carga oposta ao canudinho) será maior do que a repulsão (entre o canudinho carregado e a extremidade do versorium carregada com carga de mesmo sinal que a carga do canudinho atritado). Isto explica o motivo de ocorrer atração entre um corpo carregado e outro inicialmente neutro. As fotos na figura 10 ilustram um ímã e um canudo atritado próximo a alguns versoriuns.

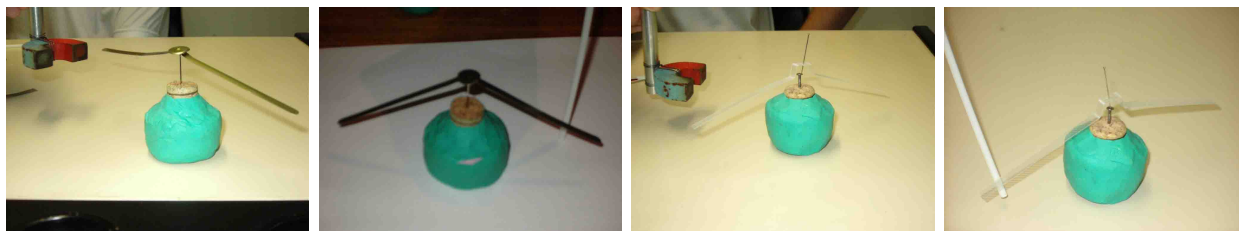


Figura 10: A primeira foto ilustra um versorium de aço sendo atraído por um ímã. Na segunda foto esse mesmo versorium é atraído agora por um canudinho atritado. Na terceira foto temos o versorium de plástico próximo ao ímã, sendo que nesse caso não observamos fenômeno algum. Na última foto temos o canudinho de plástico sendo atraído pelo canudinho atritado.

### 3.2.2 Verificação se um Corpo Está Carregado ou Não

Para a verificação se um objeto encontra-se carregado, é necessário ter um versorium construído. Como estamos interessados em verificar se quem está carregado é o objeto e não o versorium, utilizaremos um versorium de aço ou alumínio, pois apenas tocando o dedo nele já garantimos que o mesmo fique descarregado, ou seja, sem excesso de cargas. Aproximamos então o objeto (que pode estar carregado ou não) do versorium. Ocorrendo o giro do versorium, isso significa que o corpo está carregado eletricamente. Por exemplo, se aproximarmos um canudinho sem ser atritado de um versorium, este não gira. Se aproximarmos um canudinho atritado de um versorium, este gira alinhando-se com o canudinho. Como já foi discutido anteriormente, o processo de eletrização aqui é o atrito e a justificativa do motivo pelo qual o versorium gira também é a mesma do item anterior. Isto é, temos um objeto carregado atraindo um corpo neutro (versorium). Na figura 11 abaixo temos algumas fotografias do experimento.

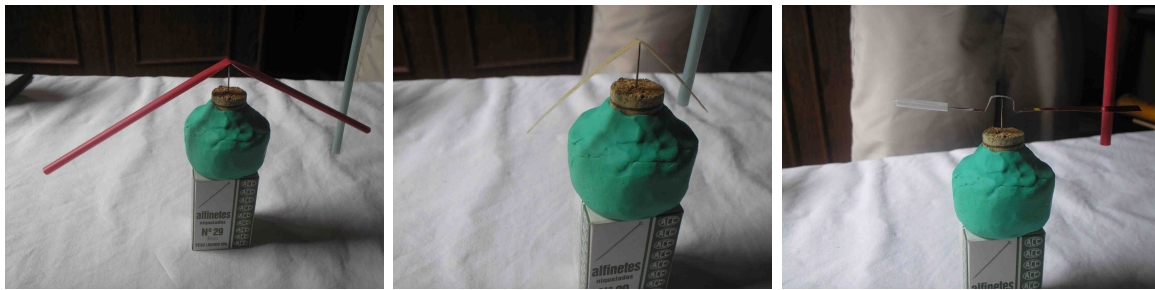


Figura 11: Canudinho atritado sendo aproximado de alguns dos versoriuns (plástico, palha e alumínio, nesta ordem).

### 3.2.3 Caráter Vetorial da Força Elétrica

Sabe-se que força é uma grandeza vetorial. Ou seja, uma completa informação sobre a força necessita mencionar o seu módulo, direção e sentido. A interação elétrica ocorre devido a existência de uma força entre os corpos. Assim sendo, é necessário explicar em qual direção ela irá apontar. Para verificar esse fato utiliza-se de um experimento com um versorium de alumínio (poderia ser qualquer outro). Atrita-se um canudinho de refrigerante em uma flanela e o espetamos em uma base feita de massa de modelar, para que o canudinho atritado fique na vertical. Aproxima-se esse canudo do versorium e se observa o que acontece. O versorium alinha-se com o canudinho (ou seja, a linha reta ao longo da direção do versorium aponta para o canudinho atritado). Em seguida atrita-se outro canudinho e repete-se o mesmo procedimento, porém deixando os dois canudinhos atritados próximos ao versorium, sempre observando sua movimentação. Esse procedimento pode ser feito com vários canudinhos. A figura 12 mostra uma montagem com um canudinho atritado e a figura 13, com dois canudinhos atritados.

Como a força elétrica é uma grandeza vetorial, ela aponta na direção das cargas que estão interagindo. Ou seja, se temos apenas um canudinho atritado, o versorium irá apontar na direção do canudinho atritado, como pode ser visto na figura 12. Quando temos dois canudinhos atritados, a resultante da força estará entre os dois canudinhos, numa posição intermediária, vide figura 13. Com vários canudinhos, a direção apontada pelo versorium estará dizendo para onde a resultante das forças está dirigida. Nas figuras 14 e 15 temos algumas fotos ilustrando esse experimento.

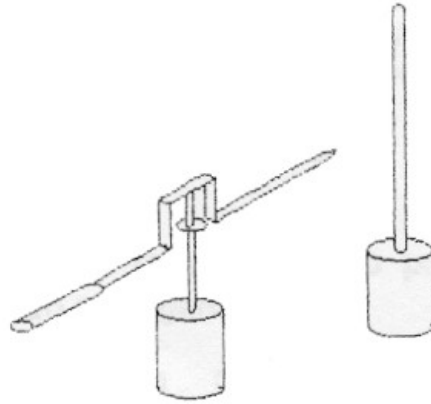


Figura 12: Caráter vetorial da força elétrica. O versorium alinha-se com o canudinho atritado.

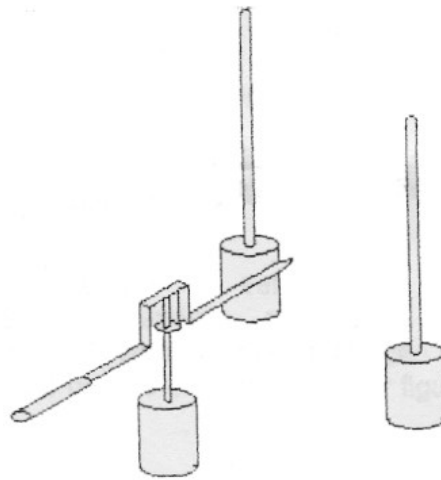


Figura 13: Força elétrica devido a dois canudinhos atritados interagindo com o versorium.

### 3.2.4 Mapeamento do Campo Elétrico

Também pode-se usar o versorium para fazer um mapeamento do campo elétrico. Pretendemos aqui mapear o campo elétrico devido a um canudinho carregado (simetria cilíndrica) e também o de uma placa plana carregada.

Para mapear o campo devido ao canudinho carregado, atritamos um canudinho na flanela e o espetamos numa base de massa de modelar para apoiá-lo. Então aproximamos o canudinho do versorium e o movimentamos em torno do versorium, observando como o versorium se movia.

Para mapear o campo de uma placa, utilizamos uma placa de alumínio que foi fixada em um canudinho descarregado e esse canudinho foi espetado numa base. Então eletrizamos a placa por indução. Para isso, atritamos um outro canudinho de refrigerante e o aproximamos de um lado da placa sem encostar nela. Com o canudinho próximo deste lado da placa, apenas tocamos com o dedo no outro lado da placa e afastamos o dedo, deixando sempre o canudinho atritado perto da placa. Só depois de tocar o outro lado da placa e de afastar o dedo é que afastamos o canudinho atritado. Desse modo conseguimos uma placa carregada por indução. Para saber o sinal da carga que está na placa, basta seguir o seguinte raciocínio: um canudinho atritado com flanela adquire carga negativa <sup>11</sup>. Ao

<sup>11</sup>A explicação para o sinal da carga do canudinho está dada na parte dos experimentos com durex, juntamente com

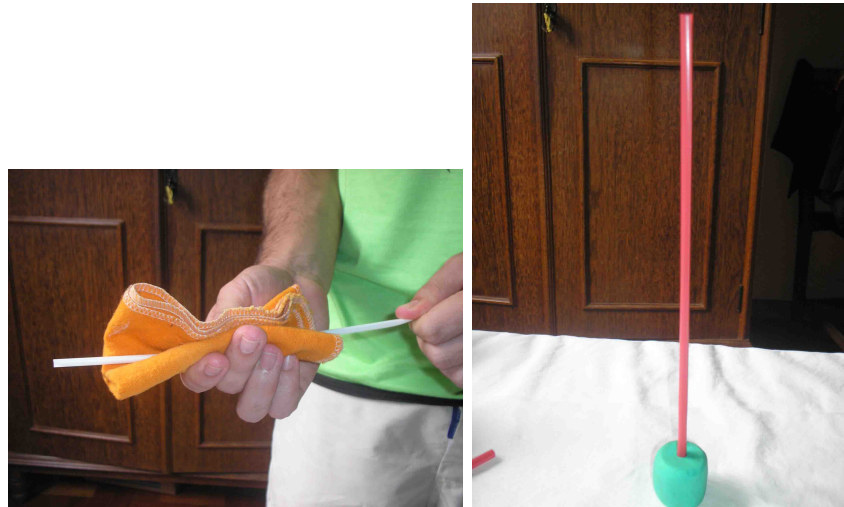


Figura 14: Foto ilustrando um canudinho sendo atritado, e depois a sua montagem em uma base.

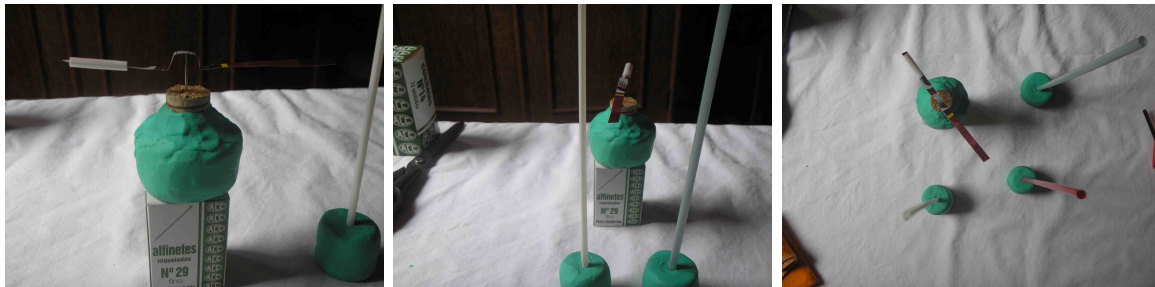


Figura 15: Versorium de alumínio apontando na direção da força elétrica. Na primeira foto temos apenas um canudinho atritado, na segunda dois canudinho atritados e na terceira, três canudinhos atritados. Veja que quando temos dois canudinhos atritados, a resultante da força está numa direção entre os mesmos. Quando temos muitos canudinhos atritados como na última foto, a direção final do versorium indica a direção da força resultante.

aproximarmos esse canudinho carregado de um dos lados da placa de alumínio, que é condutora, as cargas irão se separar, sendo que a extremidade próxima ao canudinho fica positiva e a outra, onde encostaremos o dedo, fica negativa. Observe que nesse caso os elétrons tendem a se movimentar para a extremidade oposta ao canudinho (as cargas negativas do canudinho repelem os elétrons de um dos lados da placa). Ao tocar com o dedo na placa, os elétrons irão fluir para nosso dedo, fazendo diminuir o número de elétrons na placa, deixando-a carregada positivamente.

No caso do canudinho carregado as linhas do campo apontam radialmente. Para observar isso basta girar um canudinho carregado vagarosamente em torno do versorium (ou vice versa) e observar que o mesmo sempre aponta na direção do canudo atritado. Ou seja, as linhas do campo são radiais. Veja a figura 16.

A primeira foto da figura 15 serve também para ilustrar a direção do versorium em relação à linha de campo do canudinho.

No caso da placa, as linhas de campo são normais à superfície, sendo paralelas entre si. Fazendo esse experimento vemos que o versorium fica apontado em uma direção normal a superfície da placa.

---

a referência bibliográfica.

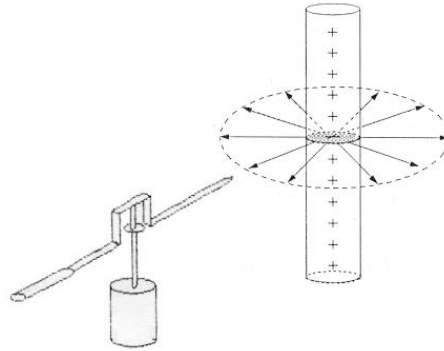


Figura 16: Campo elétrico de uma simetria cilíndrica.

A foto a seguir na figura 17 ilustra o resultado obtido, que concorda com o que esperávamos.

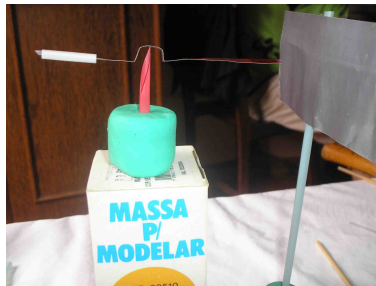


Figura 17: Campo elétrico de uma placa de canudinho de refrigerante.

### 3.2.5 Interação Entre Versoriuns

Nesta parte estamos interessados em saber como os versoriuns se comportam quando eles estão eletrizados. Queremos aqui ver os fenômenos de atração e repulsão. Iremos utilizar um versorium de alumínio montado sobre um canudinho chanfrado, e também um versorium de canudinho de refrigerante. Colocamos então o versorium de alumínio próximo a um outro versorium de canudinho de refrigerante, onde esse canudinho foi antes atritado em pedaço de flanela estando, portanto, carregado eletricamente. Visto que temos um versorium carregado (canudinho) e outro neutro (alumínio), os dois se movimentam de forma que os dois apontam um para o outro. Nesse caso houve um atração entre eles. A explicação aqui é a mesma dada na primeira seção, temos um corpo carregado atraindo um corpo neutro. Nesse caso, a resultante das forças é aquela que os atrai.

Em seguida utilizamos dois versoriuns de canudinho, sendo que os dois canudinhos foram atritados antes (atritamos apenas um dos braços de cada versorium). Ou seja, os dois possuem a mesma carga. Em seguida aproximamos os dois, observando como eles se movimentam. Percebemos que o lado atritado de um dos versorins tende a repelir o lado atritado do outro versorium. Sabemos que os dois versoriuns têm cargas iguais e que cargas iguais se repelem. Isso faz com que essa interação seja uma repulsão entre os versoriuns.



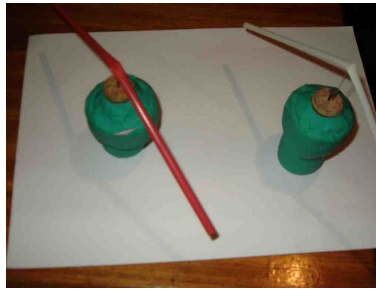


Figura 18: Interação entre os versoriuns de plástico.

### 3.3 Experimentos com Fita Adesiva

São vários os fenômenos eletrostáticos que podem ser observados com fita adesiva, tipo *durex*. Exemplos: eletrização por contato; interação entre fitas carregadas e da fita com outros objetos; verificação da natureza dessa força e como ela varia com a distância entre as fitas e com a quantidade de carga; construção de um dipolo elétrico; processo de descarga e se a fita é um condutor ou um isolante.

A seguir serão descritos os procedimentos que devem ser seguidos para a realização dos experimentos com uma explicação dos fenômenos envolvidos.

#### 3.3.1 Preparação das Fitas

Neste experimento é necessário preparar dois tipos de fitas *durex*, que como veremos a seguir, são diferentes entre si. As fitas receberão os seguintes nomes: fita **S** e fita **I**, que correspondem a **Superior** e **Inferior**, respectivamente.

Para preparar a fita **S**, primeiramente cola-se um pedaço de *durex* com aproximadamente 20 cm sobre uma superfície lisa, como o tampo de uma mesa (essa fita é chamada de base). Ela deve ser alisada, passando o dedo sobre a mesma. Em seguida cola-se um outro pedaço (de mesmo tamanho) sobre o primeiro, sobrepondo completamente a base. Recomenda-se dobrar as duas pontas do *durex* para facilitar a retirada e o manuseio das fitas. Escreve-se com uma caneta hidrográfica sobre a parte dobrada a letra **S**, para indicar que esta é a fita superior. Esfrega-se o dedo sobre a fita superior e com um movimento rápido retira-se apenas a fita de cima. Caso a fita fique um pouco enrolada, segure-a pelas dobras feitas e, muito levemente, tente esticá-la de modo a ficar o mais reto possível. Cole-a verticalmente na ponta de uma mesa, de modo que a fita fique livre para que se possa aproximar dela outros objetos. Aproximando um corpo neutro (por exemplo, nossa mão) percebe-se que a fita movimenta em direção ao objeto. Vê-se aqui uma atração elétrica, sendo que o corpo eletrizado é a fita *durex*, pois o outro objeto, que foi aproximado, estava neutro. A figura abaixo ilustra a montagem das fitas **S**.

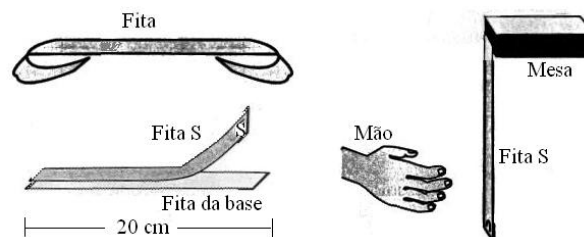


Figura 19: Esquema representando as etapas de preparação da fita S.

Uma observação importante é que nem sempre esta experiência funciona. Se o dia estiver muito úmido os efeitos não são tão visíveis. Além disso, também ocorrem variações dependendo da marca da fita adesiva. Nas experiências que fizemos funcionaram muito bem fitas adesivas da *Scotch* e da *Aro*. Algumas fitas adesivas sem marca não funcionaram ou apresentaram apenas efeitos pequenos. É bom testar esta primeira experiência (atração da fita **S** pela mão) com marcas diferentes, até encontrar as marcas que apresentam bons resultados.

Agora será descrito o procedimento para a preparação da fita **I**. Já tendo a fita de base (aquela que está diretamente sobre a superfície superior da mesa) cola-se uma outra fita também de 20 cm sobre a base, lembrando de dobrar as pontas. Escreve com uma caneta hidrográfica sobre a parte dobrada a letra **I** para indicar que esta é a fita inferior. Esfrega-se o dedo sobre a mesma e depois cola-se uma terceira fita sobre a fita **I**. Na parte dobrada desta terceira fita escreve-se a letra **S**, para indicar fita superior, esfregando o dedo sobre esta última. Feito isso, deve-se retirar de maneira conjunta as fitas **I** e **S**. Com um movimento lento retira-se a fita **I**, trazendo juntamente a fita **S**. Ou seja, são retiradas as duas de cima, ficando na mesa apenas a fita base. Antes de prosseguir deve ser verificado que este conjunto de duas fitas, **I** e **S**, não é atraído pela nossa mão. Isto é, prende-se a parte superior do par sobre a lateral de uma mesa, deixando o par na vertical, livre para se deslocar lateralmente. Aproxima-se a mão do par e o par não deve ser atraído nem repelido pela mão. Este passo é importante. Com as duas fitas juntas e retiradas da mesa, deve-se separar as duas puxando-as rapidamente. Novamente aproxima-se um corpo neutro (a mão, por exemplo) separadamente de cada uma das fitas (com as duas partes superiores estando afastadas e presas à lateral de uma mesa, com as duas fitas na vertical livres para se deslocar lateralmente). Deve ser observado se as fitas movimentam-se em direção à mão. Se isso ocorrer, elas estão prontas. Isto é, as duas fitas, **I** e **S**, ficaram carregadas eletricamente. Estamos então prontos para prosseguir com as experiências.

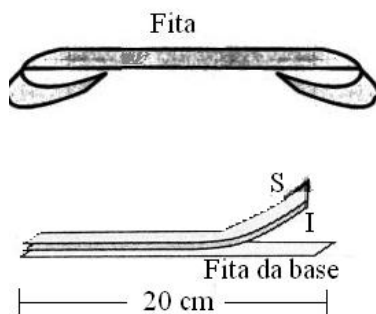


Figura 20: Esquema representando as etapas de preparação das fitas S e I.

A preparação dessas fitas faz com que as mesmas fiquem carregadas eletricamente. A princípio não se sabe qual o sinal de suas cargas. Porém os próximos procedimentos permitirão dizer se as fitas **S** e **I** possuem cargas iguais ou opostas. Acrescentando-se uma outra informação pode ser determinado também qual o sinal de cada uma. Abaixo temos algumas fotos das montagens.

### 3.3.2 Interação entre as Fitas

Para observar os efeitos de interação entre as fitas é necessário ter prontas pelo menos três fitas. Prepara-se primeiramente um conjunto de duas fitas, como citado anteriormente (fitas **S** e **I**), colocando-as na lateral de uma mesa de modo que elas fiquem verticalmente livres. Depois prepara uma outra fita **S**. Aproxima-se essa última das duas que estão penduradas na borda da mesa



Figura 21: Fotos tiradas durante as montagens experimentais. Na primeira temos a montagem da base, que é a primeira fita que se coloca sobre a mesa. Na segunda, a preparação da fita S, ou seja, está sendo colocada uma fita sobre a base. Na última temos a fita sendo atraída pela mão.

observando o que acontece. Pode também, ao invés de pendurar as fitas na mesa, segurá-las na mão pelas pontas dobradas.

Fazendo isso, observamos que quando aproximamos uma fita **S** de outra fita **S** elas se afastam. Nesse caso percebe-se que ocorre uma repulsão entre elas, possibilitando inferir que possuem cargas de mesmo sinal. Já quando aproximamos as fitas **S** e **I** elas se atraem. Portanto, possuem cargas opostas. Essa interação é bastante visível, as fitas movem-se de modo bastante perceptível, confirmando que algum fenômeno está ocorrendo.

Com essa parte do experimento é possível apenas dizer que fitas **S** têm mesmo sinal de carga, e que as fitas **S** e **I** possuem cargas opostas. Ainda não conseguimos determinar o sinal da carga de cada uma. A seguir será descrito como é possível fazer isso.

Durante este experimento deve-se observar também o efeito da distância entre as fitas. É mais fácil e prático para isso trabalhar com duas fitas iguais, ou seja, duas **I** ou duas **S**. Aproxima-se e afasta-se as fitas observando o ângulo de deflexão entre elas. Ao fazer esse procedimento, será visto que quanto menor é a distância entre as fitas, maior é o ângulo, ou seja, mais afastadas elas ficam, mostrando que essa força que está repelindo as fitas aumenta com a diminuição da distância de separação entre elas. Caso o experimento fosse feito com uma fita **S** e outra **I**, teríamos atração entre elas, mas ainda assim perceberíamos que essa força que as atrai aumenta com a diminuição da distância. Não é muito aconselhável trabalhar com fitas diferentes, pois ao aproximar uma da outra elas podem se tocar prejudicando assim a observação. Abaixo temos na figura 22 as fotos da interação entre as fitas.

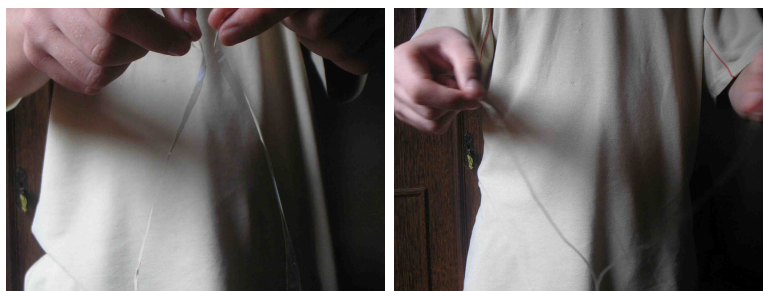


Figura 22: Na primeira temos a interação de duas fitas iguais; na segunda, interação de duas fitas diferentes: uma **S** e outra **I**.

### 3.3.3 Interação das Fitas com Outros Corpos

Para observar a interação das fitas com outros objetos, devemos ter, já preparadas, duas fitas (uma **S** e outra **I**). Com essas fitas prontas, as mesmas são fixadas verticalmente na ponta de uma mesa, ficando livres para aproximar delas um outro objeto. Então pegamos um canudinho de refrigerante, primeiro sem atritá-lo, e o aproximamos das fitas (uma de cada vez), observando o que acontece. Em seguida, esse mesmo canudinho deve ser atritado com uma flanela, e novamente o aproximamos das fitas. Fazendo isso é possível perceber dois fenômenos interessantes. No primeiro teste, o canudinho encontra-se descarregado (neutro), e nesse caso observamos que ocorre atração. A atração ocorre tanto no caso em que aproximamos o canudinho descarregado da fita **S**, quanto no caso em que aproximamos o canudinho descarregado da fita **I**. Ao atritar o canudinho ele fica carregado. Como visto na seção anterior, as fitas **S** e **I** possuem cargas diferentes, sendo uma positiva e a outra negativa. O canudinho tem necessariamente uma dessas cargas, fazendo com que seja atraído por uma das fitas e repelido pela outra.

Até esse instante não sabemos o sinal da carga de cada uma das fitas, sabemos apenas que possuem algum tipo de carga. A partir do momento que conhecemos exatamente o sinal da carga de um determinado objeto, é possível então determinar o sinal da carga adquirida por cada uma das fitas. Em [Chabay e Sherwood, 2002] temos:

*“Do mesmo modo, se você friccionar um objeto plástico limpo tal como uma caneta através de seu cabelo (ou com pele de animal, lã, ou mesmo algodão), o plástico acabará tendo carga negativa e então repelirá elétrons.”*<sup>12</sup>

A proposta então para determinar a carga das fitas consiste em atritar um canudinho, um pente e uma caneta em um pedaço de flanela. Todos esses são objetos de plástico. De acordo com a citação acima, temos que esses objetos atritados ficarão com carga negativa. Ao aproximar esses objetos das fitas, observamos o comportamento de cada uma. Esses objetos irão repelir uma das fitas e atrair a outra. Fazendo o experimento é possível perceber que a fita **S** é atraída pelos objetos plásticos, sendo portanto **positiva**, enquanto que a fita **I** é repelida, logo tem carga negativa, igual a dos objetos.

Após determinar o sinal da carga de cada uma das fitas, essas experiências servem para dizer se um objeto encontra-se neutro ou carregado. Se o corpo não tiver uma carga elétrica resultante, será atraído pelas duas fitas carregadas, tanto pela **I** quanto pela **S**. Se o corpo tiver uma carga líquida, será atraído por uma das fitas e repelido pela outra. Caso o corpo esteja carregado, pode-se avaliar qual o sinal da carga, bastando para isso aproximá-lo das fitas, pois agora já sabemos o sinal das cargas de **I** e de **S**.

### 3.3.4 Fita Adesiva: Condutora ou Isolante?

Uma vez que preparamos corretamente as fitas, elas possuem cargas. Mas será que as cargas sempre ficarão nas fitas, mesmo manuseando-as tanto? A fita durex apresenta dois lados, sendo um liso (sem cola) e o outro com cola. O que acontece se tocarmos o dedo em um dos lados? Ou então, o que acontecerá se esfregarmos o dedo em um movimento de vai e volta sobre a fita? A seguir será dada uma descrição sobre os fenômenos observados e uma possível explicação para eles.

O primeiro teste a ser feito aqui é tocar com o dedo no lado liso da fita e observar o que acontece. Fazendo isso percebemos que nenhum efeito ocorre e a fita continua sendo atraída por nossa mão do

<sup>12</sup>Extraído de [Chabay e Sherwood, 2002], Matter and Interactions, pág. 465.



Figura 23: Caneta atritada sendo aproximada de uma fita I. De acordo com Shabay e Sherwood, uma caneta atritada no cabelo ou no algodão fica carregada negativamente. Como esta fita está sendo repelida pela caneta atritada, descobrimos que a fita I fica carregada negativamente.

mesmo jeito que antes. Desse modo não conseguimos tornar neutra a fita. A seguir encostamos o dedo no lado com cola e também não percebemos nenhuma mudança.

O próximo passo a ser feito agora é, ao invés de tocar, esfregar o dedo em movimento de vai e volta na fita e observar. Fazemos isso primeiramente no lado liso. Em seguida, aproximamos a nossa mão da fita, observando que a intensidade com a qual a fita é atraída em direção à nossa mão diminui em relação ao caso em que não esfregamos a fita. Quanto mais esfregamos a fita, menos atraída pela mão ela vai ficando, até um momento em que nossa mão não mais a atrai. Chegamos numa situação onde a fita parece estar neutralizada. Em [Chabay e Sherwood, 2002, pág. 462] vemos uma referência a esse procedimento. Nessa experiência vemos que para fazer a fita não interagir, basta esfregar nosso dedo em movimento de vai e volta no lado liso, várias vezes. Porém, o próprio texto diz que isso é um pouco estranho, porque se a fita está carregada, as cargas presumivelmente estão no lado de cola. Entretanto, esfregando o dedo no lado liso aparentemente a neutralizamos.

Também em [Chabay e Sherwood, 2002] temos que:

*“Usamos rotineiramente o que pode ser parecido um método muito estranho para descarregar a fita que é friccioná-la pelo lado liso, mesmo quando era o lado com cola que ficou carregado. Vamos tentar esclarecer esse quebra-cabeça. Você pode descarregar facilmente uma folha metálica carregada tocando-a brevemente em qualquer parte, pois ela é um condutor. É mais difícil descarregar uma fita carregada. Como a fita é um isolante, você tem que esfregar seus dedos sobre toda a superfície para neutralizar totalmente as cargas. Friccionando o lado de cola da fita, ela tende a carregar, o que competiria com sua tentativa de descarregá-la. Isto explica porque friccionamos apenas o lado liso.”<sup>13</sup>*

Agora de posse de uma fita carregada esfregue apenas a sua metade superior com os dedos no lado liso. Faça isso até notar que a fita está neutralizada na parte superior. Então leve a mão próximo a parte inferior da fita e depois próximo a parte superior. Será observado que a mão não atrai mais a metade superior da fita, mas ainda atrai a parte inferior. Isso indica que quando esfregamos o dedo na fita, somente a parte que foi friccionada se neutralizou. E indica também que as cargas na fita não se movimentaram, indicando claramente que a parte lisa da fita é um **isolante**.

<sup>13</sup>Extraído de [Chabay e Sherwood, 2002], Matter and Interactions, pág. 480-481.

### 3.3.5 Construção de um Dipolo Elétrico

Agora será mostrado como construir um dipolo elétrico usando as fitas de durex carregadas. Queremos aqui mostrar o que acontece com o dipolo quando aproximamos um objeto carregado.

Para a preparação do dipolo precisamos inicialmente de duas fitas (uma **S** e outra **I**), ou seja, fitas com cargas opostas. Também será necessário um pedaço de fio de seda, que é um excelente isolante. Pegamos então uma das fitas e colamos nela o fio de seda, de forma que o mesmo fique bem na borda da fita e que sobre um pedaço fora da fita. Em seguida colamos a outra fita, sobrepondo apenas onde o fio de seda está, ou seja, as fitas devem ficar coladas apenas pela borda. Pendure a montagem pelo fio e chegue próximo dele objetos carregados. A figura 24 ilustra como deve ser feita a construção do dipolo.

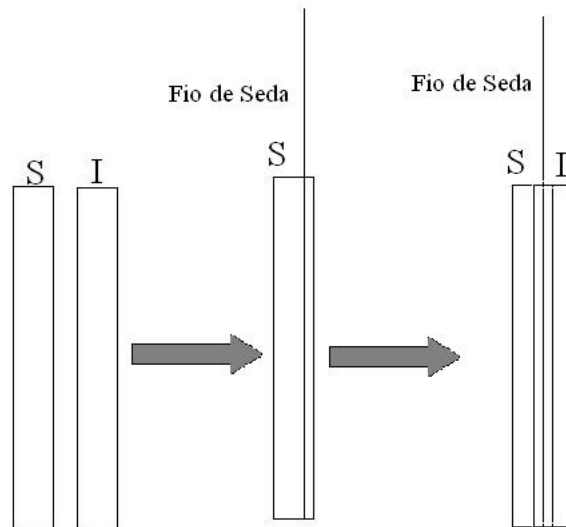


Figura 24: Esquema por etapa da montagem do dipolo usando as fitas S e I.

Percebe-se claramente que construímos um objeto muito sensível, pois o mesmo irá movimentar-se quando aproximamos, por exemplo, um canudinho que foi atritado com a flanela. Como o dipolo tem duas fitas carregadas com cargas contrárias, o mesmo voltará, para o canudinho, o seu lado carregado com carga oposta ao canudinho.

### 3.3.6 Interação das Fitas Através de um Pedaço de Papel

Inicialmente devemos preparar duas fitas **S**. Depois penduramos uma das fitas na borda da mesa e uma pessoa segura a outra fita pelas extremidades dobradas próximo a fita que está pendurada. Como as fitas possuem cargas iguais já sabemos que elas se repelirão. Alguém pega uma folha sulfite e a coloca entre as fitas bem lentamente, com um movimento vertical de baixo para cima. À medida que a folha vai ficando entre as fitas, a distância de separação entre as mesmas diminui. Este é o fenômeno que observamos. Mas por que as fitas se aproximam uma das outras na presença do papel?

Sem o papel, a única interação que existe é a repulsão entre as fitas. Quando colocamos o papel (que está neutro) o papel irá atrair as duas fitas em sua direção. Em cada uma das fitas existirá uma força de atração e outra de repulsão. Veja o desenho 26.

Neste esquema vemos que as forças têm a mesma direção, mas sentidos contrários, ou seja, a resultante será a diferença entre essas duas forças. Quando o papel está ausente, a única força

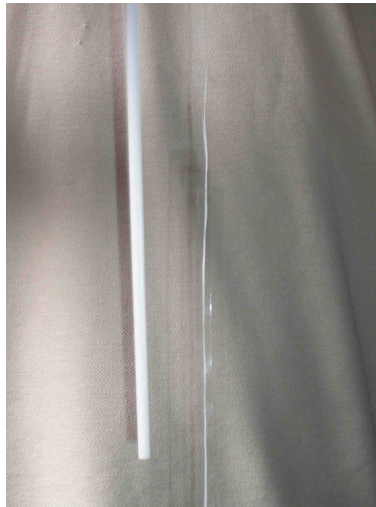


Figura 25: Foto de um canudinho sendo aproximado de um dipolo construído. O dipolo está alinhado na direção do canudinho.

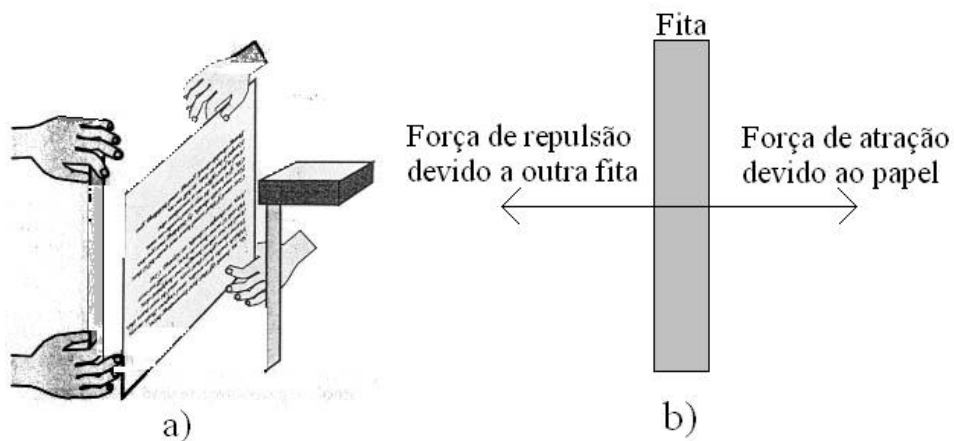


Figura 26: (a) Desenho esquemático de como deve ficar a montagem experimental. (b) Esquema das forças que estão atuando sobre a fita do lado esquerdo.

presente é a de repulsão, fazendo com que as fitas tenham a maior separação possível. Ao introduzir a folha surgirá a força de atração, que puxa as fitas no sentido do papel, diminuindo assim a distância que existia entre as fitas.

A posição das fitas depende da posição que o papel se encontra em relação a cada uma das fitas, pois sabemos que a força elétrica aumenta com a diminuição da distância entre as fitas. Para observar como isso influi, podemos movimentar o papel para frente e para trás. Veremos assim que as fitas movimentam-se também, variando, portanto, a distância entre elas.

## 4 Discussão

Como já mencionado várias vezes no texto, os fenômenos de eletrostática já eram conhecidos a bastante tempo (desde aproximadamente 600 a. C. pelos gregos). Porém, foi com Gilbert, em 1600, que seu estudo começou de fato a ser feito e os fenômenos explicados. O versorium foi o primeiro instrumento construído com a finalidade de detectar a interação elétrica. Nesse projeto mostramos vários experimentos que podem ser feitos com o versorium. Atualmente seu uso não se restringe apenas àqueles experimentos que Gilbert fazia. Pelo contrário, existem muitos outros fenômenos que podem ser observados com esse simples instrumento. Dentre os experimentos realizados com o versorium é interessante salientar quais foram desenvolvidos por Gilbert e quais foram implementados aqui. Uma das primeiras preocupações de Gilbert era distinguir a interação elétrica da magnética. Para isso Gilbert construiu seu versorium de um material não ferromagnético, ou seja, não era atraído por um ímã. Porém Gilbert percebeu que quando atritava certos materiais e os aproximava do versorium ocorria um giro no mesmo, indicando que havia alguma interação que não era devido a pedra-ímã. Porém existiam outros materiais que mesmo sendo atritados não causavam giro no versorium. Gilbert denominou esses últimos materiais de **não-elétricos**, enquanto que os primeiros foram chamados de **elétricos**. Com isso, foi possível notar que não era apenas o âmbar que possuía propriedades elétricas. A eletricidade deixou ser vista como propriedade de um corpo apenas. Os experimentos que foram implementados aqui foram: caráter vetorial da força elétrica, mapeamento do campo elétrico e interação entre os versoriums. Esses últimos fenômenos não foram estudados por Gilbert.

Na segunda parte do projeto foram trabalhados os experimentos com fita adesiva, tipo durex. Tratamos de uma série de experimentos citados em [Chabay e Sherwood, 2002]. Durante a realização dos experimentos com durex, foi possível ver como os fenômenos eletrostáticos estão presentes em vários materiais que manuseamos no dia-a-dia e muitas vezes não sabemos que sua origem é explicada pela eletrostática. Nos experimentos com durex temos evidências claras que a força responsável pelos efeitos é de origem elétrica. Primeiro porque existem dois tipos de fitas com comportamentos diferentes quando aproximamos delas um objeto carregado, cuja carga sabemos o sinal, indicando que as fitas têm cargas opostas. Outra indicação é que a força decresce com o aumento da distância, assim como a força elétrica. Essa força depende também da quantidade de carga, e isso é observado quando passamos o dedo nas fitas tentando descarregá-la. Esse processo é gradativo. Isto é, quanto mais vezes passamos o dedo pela fita carregada, menos ativa ela fica (é cada vez menos atraída por um corpo neutro condutor, etc.). Vemos então que cada vez temos menos cargas na fita, sendo que a força percebida pela fita diminui cada vez mais até deixar de ser percebida (as fitas perderam toda sua carga). A explicação para a atração e repulsão entre as fitas, ou das fitas com outro objeto é a mesma dada para explicar por que o versorium atrai ou repele um objeto. Só precisamos lembrar que quando temos cargas opostas ocorre atração; e cargas iguais, repulsão. Além disso, é preciso levar em conta que a força elétrica aumenta com a diminuição da distância entre os corpos carregados.



## **5 Conclusão**

Tinha-se como objetivo neste projeto mostrar vários experimentos de eletrostática que são de fácil manuseio e baixo custo. Experimentos desse tipo são importantes no sentido em que não tomam muito tempo de um professor em sala de aula (problema para escolas com reduzido número de aulas de física) e servem como uma introdução e/ou motivação para os alunos no curso de eletrostática. A eletricidade é um fenômeno que sempre despertou curiosidade nas pessoas, e em cada época existia alguma explicação ou ao menos uma tentativa de explicá-la. Pretendia-se também nesse texto mostrar historicamente como o estudo da eletrostática evoluiu, e como a construção de um simples instrumento - o versorium - permitiu a partir de então um estudo mais sistemático da eletrostática. Tendo em vista isso, a execução do projeto mostrou-se satisfatória, pois todos os experimentos propostos foram testados mostrando resultados satisfatórios, conforme o esperado.

## 6 Comentários do Coordenador

Abaixo segue os comentários feitos pelo coordenador da disciplina durante o curso.

### **Comentário feito em 08/09/2005 sobre o projeto:**

*“Projeto aprovado. Tente parametrizar os problemas eventuais com umidade e se possível criar um ambiente isolado de umidade para dias úmidos. Bom trabalho!”*

### **Comentário feito em 17/10/2005 sobre o relatório parcial:**

*“RP aprovado. Apenas as referências resultam demasiadamente vagas. Descreva o que foi obtido delas, e no “feiradeciencias.com.br” especifique. Abrindo com o botão direito sucessivamente terá o caminho a qualquer texto nela, e não esqueça de copiar o conteúdo, que é variável por construção. Bem, provavelmente tenha feito isso no arquivo anexo, o referencias.zip, mas não o abriu porque, a menos de justificativa técnica, devia estar todo incluído no relatório.”*

## Referências

- [1] [Chabay e Sherwood, 2002] CHABAY, R e SHERWOOD, B. *Matter & Interactions, Volume 2: Electric and Magnetic Interactions*. John Wiley & sons, Inc. New York, 2002; págs. 460-483.
- [2] [Ferreira, 2005(a)] FERREIRA, N. *Projeto Ripe - Rede de Instrumentação para Ensino*. Experimentoteca/Ludoteca, Instituto de Física - USP. Detalhes em (acessado em setembro de 2005): <http://www.ludoteca.if.usp.br/>
- [3] [Ferreira, 2005(b)] FERREIRA, N. *Magnetismo e Eletricidade*. *Ciência Hoje na Escola*, vol. 12, págs. 14-17 (2005).
- [4] [Ferreira, 2005(c)] FERREIRA, N. *O Versorium*. *Ciência Hoje na Escola*, vol. 12, págs. 18-20 (2005).
- [5] [Gilbert, 1958] GILBERT, W. *De Magnete*. Traduzido do latim para o inglês por P. Fleury Mottelay. (Dover, New York, 1958).
- [6] [Magalhães, 2000] MAGALHÃES, A. P. *De Magnete - Imagens do Magnetismo no Século XVII*. In Anais do VII Semana Nacional de História da Ciência e da Tecnologia. J. L. Goldfarb e M. H. M. Ferraz (organizadores). Imprensa Oficial SP, Edusp, Editora da Unesp, SP, 2000. Págs. 443-450.
- [7] [Medeiros, 2002] MEDEIROS, A. *As Origens Históricas do Eletroscópio*. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Vol. 24, págs. 353-361 (2002).
- [8] [Nussenzveig, 2001] NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de Física Básica, vol. 3 - Eletromagnetismo*. Editora Edgard Blücher LTDA, 2ª reimpressão, São Paulo, 2001, pág. 1.

### Sites com informações sobre o versorium e com experiências de eletrostática:

- [9] [Biografia de Gilbert] <http://chem.ch.huji.ac.il/~eugeniik/history/gilbert.html> (Acessado em 24/09/2005.)
- [10] [Gilbert e os ímãs] <http://www.scite.pro.br/emrede/eletricidade/magnetismo/gilbertimas.html> (Acessado em 23/09/2005.)
- [11] [Gilbert e o magnetismo terrestre] <http://www.scite.pro.br/emrede/eletricidade/magnetismo/gilbertterra.html> (Acessado em 23/09/2005.)
- [12] [Sticky electrostatics] <http://www.amasci.com/emotor/sticky.html> (Acessado em 10/11/2005.)

## **Anexo - Páginas consultadas na Internet**