

Aula 3

CAMPO ELÉTRICO

META

Fazer com que o estudante comece a pensar no ensino de ciências como algo “orgânico” que está em profunda transformação.

Fazer com que os alunos percebam, através de um texto básico complementado com atividades lúdicas, *applets* de ensino, vídeos, e com materiais de baixo custo que o conceito de campo elétrico pode ser apreendido de forma simples e divertida.

Analisar a biografia de Michael Faraday e fazer com que o estudante reflita sobre o que é fazer Física.

Introduzir o problema de como se ensinar o conceito de campo.

OBJETIVOS

Ao final desta aula, o aluno deverá: estar ciente das novas possibilidades e dos desafios que envolvem o ensino de ciências em geral e das dificuldades de se ministrar um curso de eletricidade e magnetismo.

Ter compreendido que as ciências naturais estão baseadas na experimentação e que esta é feita de ensaios, experiências e medidas e que estas levam à compreensão e matematização dos conceitos físicos (naturais em geral).

Trazer a discussão sobre o papel que a Matemática tem na formação e no ensino de Física.

Discutir as dificuldades de se trocar o conceito de força pelo de campo nas explicações dos fenômenos físicos.

PRÉ-REQUISITOS

Os alunos deverão ter cursado Psicologia da Educação, Física A e Física B e instrumentação I.

Vera Lucia Mello

INTRODUÇÃO

Devido ao papel fundamental que a Matemática tem e continuará desempenhando na descoberta, construção e evolução das ciências exatas o ensino de Física, principalmente no Ensino Médio, está centrado na metodologia de se apresentar a Física como uma ciência feita de leis expressas por meio de leis matemáticas e com muito pouco contato com a experimentação.

Nos dois cursos de instrumentação anteriores tivemos a oportunidade de introduzir o papel da experimentação no ensino de Física. Nesta instrumentação teremos a oportunidade de apresentar a história de um cientista, Faraday, que apesar de seus poucos conhecimentos e domínio de Matemática se tornou um dos mais importantes e célebres cientistas modernos. Como experimentação e história da Física são partes integrantes do curso de instrumentação, a seguir apresentamos um resumo da biografia de Faraday e depois faremos um resumo da teoria do campo elétrico.

Discutiremos aqui, através de dois textos didáticos, a dificuldade de se ensinar o conceito de campo elétrico. Os educadores que trabalham com aprendizagem significativa concordam que certos conceitos físicos, tais como o princípio da inércia, campo elétrico e outros, exigem certa capacidade de raciocínio abstrato por parte do aluno. É de consenso que a grande maioria dos adolescentes não atingiram este grau de compreensão. Então surge a questão: como ministrar ou abordar estes temas? Não vamos resolver este problema aqui, mas vamos discutir algumas soluções para ele.

BIOGRAFIA

Michael Faraday nasceu em NewingtonButts, ao sul de Londres. Sua família era pobre e seu pai, James Faraday, era um ferreiro que com a mãe de Faraday, Margaret Hastwell, tinha no começo de 1791 migrado do norte da Inglaterra para NewingtonButts, em busca de trabalho. Eles já tinham dois filhos antes de se mudarem (um menino e uma menina), e Faraday nasceu poucos meses depois dessa mudança. A família logo se mudou de novo, agora para Londres, onde o jovem Michael Faraday, recebeu os rudimentos de uma educação, aprendendo a ler, escrever, e aritmética.

Faraday começou a trabalhar aos 13 anos de idade, como menino de recados de um encadernador e comerciante de livros, George Riebau, um imigrante francês que foi para Londres devido à Revolução Francesa. Em 1805, aos 14 anos, Faraday tornou-se aprendiz de Riebau e leu vários dos livros que encadernou durante seus sete anos de aprendizado.

O primeiro livro que chamou sua atenção foi *Conversations of Chemistry* (Palestras sobre Química) de Jane Marcet, escrito em 1805. A obra -

A melhoria da mente - de Isaac Watts, foi a primeira que fez com que ele meditasse. Leu a *Enciclopédia Britânica* (um exemplar que estava encadernando) e interessou-se muito por um artigo sobre eletricidade.

Como resultado de suas leituras realizou experiências químicas simples: certa vez teve acesso a um livro chamado *Experiências Químicas*, e com o pouco dinheiro que tinha comprou instrumentos simples e começou a fazer as experiências que estavam no livro. Assim, foi modelando sua inteligência, desenvolvendo sua técnica. Conforme ele progredia, aumentava o seu interesse e a sua curiosidade. Lia todos os livros de ciência que encontrava.

Desde 1810, Faraday assistiu aulas de John Tatum (fundador de uma sociedade filosófica), sobre diversos assuntos. Quando tinha 20 anos, em 1810, Faraday foi convidado para assistir a quatro conferências de Humphry Davy, um importante químico inglês e presidente da *Royal Society* entre 1820 e 1827. Faraday tomou notas dessas conferências e, mais tarde, redigiu-as em formato mais completo. Então, em 1812, ele escreveu para Humphry Davy mandando cópias dessas notas. Davy respondeu para Faraday quase imediatamente, e muito favoravelmente, além de arranjar um encontro.

Em março de 1813, foi nomeado ajudante de laboratório da *Royal Institution* por recomendação de Humphry Davy.

Davy precisava fazer uma lâmpada de segurança para ser usada nas minas e Michael pode mostrar seu potencial, dando-lhe sugestões, pois tinha grande capacidade analítica. Suas sugestões foram aceitas. Davy o reconheceu e lhe deu a oportunidade de participar ativamente de suas experiências.

Seis meses depois, Davy o convidou para acompanhá-lo como seu “assessor filosófico” em uma série de conferências. No dia 13 de outubro de 1813, partiram para a Europa. “Esta manhã marca uma época em minha vida”, escreveu em seu diário. Como o criado de Davy desistiu de viajar, Michael assumiu este papel. A viagem foi cheia de surpresas para Michael: conheceu o mar, as montanhas, o Vesúvio, viu Napoleão; conheceu Alessandro Volta, André-Marie Ampère, Joseph Gay-Lussac e outros cientistas.

Em 1815, volta à Inglaterra. Michael passa a integrar o *Royal Institution*, sendo conferencista ocasional. Ele e Davy concluem a lâmpada de segurança que começou a ser usada no ano seguinte. Michael declara que a lâmpada não era perfeitamente segura, o que desagradou ao ego de Davy. Ingressou na Sociedade Filosófica, onde realizava conferências sobre química, utilizando-se do que ouvia de Davy.

As suas contribuições mais importantes e os seus trabalhos mais conhecidos estão intimamente relacionados com os fenômenos da eletricidade e do magnetismo, no entanto, também contribuiu de forma significativa para a evolução da Química enquanto ciência. Faraday foi principalmente um experimentalista, chegando a ser descrito como o “melhor experimentalista na história da ciência”, embora não dominasse conhecimentos de Matemática avançada, como o cálculo.

Tanto as suas contribuições para a ciência, como o impacto que as mesmas tiveram na nossa sociedade, são importantes: as suas descobertas científicas cobrem áreas significativas da Física e da Química modernas, e a tecnologia desenvolvida baseada no seu trabalho está ainda mais presente. As suas descobertas na área do eletromagnetismo constituíram a base para os trabalhos de engenharia do fim do século XIX por pessoas como Edison, Siemens, Tesla e Westinghouse, que tornaram possível a eletrificação das sociedades industrializadas. Por outro lado, os seus trabalhos em eletroquímica são agora amplamente usados em Química industrial.

Na área da Física, foi um dos primeiros a relacionar a eletricidade e o magnetismo.

Em 1821, logo após Oersted ser o primeiro a descobrir que a eletricidade e o magnetismo eram associados entre si, Faraday publicou o seu trabalho, a que chamou de “*Rotação Eletromagnética*” (princípio que explica o funcionamento do motor elétrico).

Em 1831, Faraday descobriu a indução eletromagnética, o princípio do funcionamento de um gerador elétrico e de um transformador elétrico.

Suas ideias sobre os campos elétrico e magnético, e a natureza dos campos em geral, inspiraram trabalhos posteriores nessa área (como as equações de Maxwell).

Na área da Química, ele descobriu o benzeno, produziu os primeiros cloretos de carbono conhecidos (C_2Cl_6 e C_2Cl_4), ajudou a estender as fundações da metalurgia e metalografia, além de ter tido sucesso em liquefazer gases nunca antes liquefeitos (dióxido de carbono e cloro, entre outros), tornando possível métodos de refrigeração que foram muito utilizados. Talvez a sua maior contribuição foi, na fundação virtual da eletroquímica, introduzindo termos como eletrólito, ânodo, cátodo, eletrodo e íon.



Michael Faraday (1791 – 1867).
Disponível em: <<http://www.explicatorium.com/Michael-Faraday.php>>

Pesquisou também algumas ligas de aço e produziu vários tipos novos de vidros. Um desses vidros tornou-se historicamente importante por ser a substância em que Faraday identificou a rotação do plano de polarização da luz quando era colocado num campo magnético e também por ser a primeira substância a ser repelida pelos pólos de um ímã.

Faraday morreu na sua casa em Hampton Court em 25 de Agosto de 1867, aos 75 anos, e foi enterrado na Abadia de Westminster, ao lado de Isaac Newton.

A constante Física fundamental que representa a carga molar elementar, recebeu o nome de constante de Faraday, em homenagem a este cientista britânico, devido aos seus vastos estudos em eletroquímica.

A seguir colocamos um texto didático disponível no Portal São Francisco, produzido por um professor do Ensino Médio para os seus alunos. Este texto apresenta a forma e estrutura de apresentação da maioria dos livros textos antes do advento do PNLEM. Note-se que ele está baseado na introdução direta de conceitos, definições e fórmulas.

CONCEITOS CAMPO ELÉTRICO

1. O vetor campo elétrico

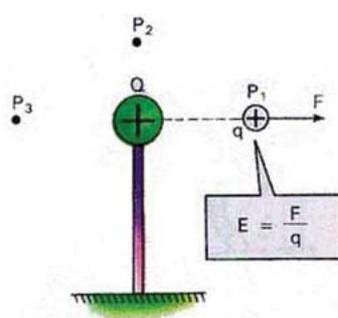
O campo elétrico pode ser representado, em cada ponto do espaço, por um vetor, usualmente simbolizado por E que se denomina vetor campo elétrico.

A seguir, encontram-se as características deste vetor.

1.1. Módulo do vetor

O módulo do vetor, em um dado ponto, costuma ser denominado intensidade do campo elétrico naquele ponto. Para definir este módulo, consideremos a carga Q, mostrada na fig.02, criando um campo elétrico no espaço em torno dela. Colocando-se uma carga de prova q em um ponto qualquer, como o ponto P1, por exemplo, uma força elétrica atuará sobre esta carga de prova. A intensidade do campo elétrico em P1 será, por definição, dada pela expressão

$$E = F/q$$



Disponível em: <<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/fisica/campo-eletrico-1.php>>

A expressão $E = F/q$ nos permite determinar a intensidade do campo elétrico em qualquer outro ponto, tal como P2 , ou P3 etc. De maneira geral, o valor de E será diferente para cada um desses pontos, a não ser em casos especiais. Observe que, de $E = F/q$ obtemos:

$$F = qE$$

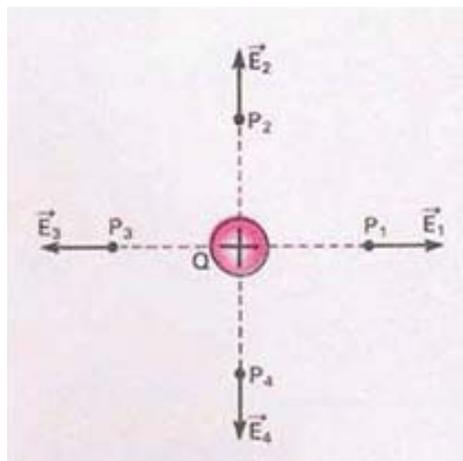
isto é, se conhecermos a intensidade, E, do campo elétrico em um ponto, poderemos calcular, usando a expressão anterior, o módulo da força que atua em uma carga qualquer, q, colocada naquele ponto.

1.2. Direção e sentido do vetor

A direção e o sentido do vetor campo elétrico em um ponto são, por definição, dados pela direção e sentido da força que atua em uma carga de prova positiva colocada no ponto.

Por exemplo:

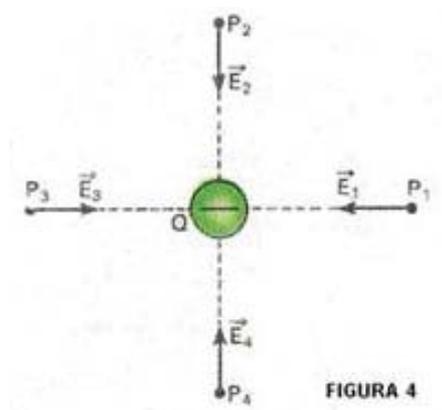
Consideremos o ponto P1 mostrado na fig.03. Se uma carga de prova positiva fosse colocada em P1 ela seria, evidentemente, repelida por Q com uma força horizontal para a direita. Portanto, em virtude do exposto, o vetor campo elétrico 1 , naquele ponto, seria também horizontal e dirigido para a direita. De modo análogo, podemos concluir que em P2 temos um vetor 2 dirigido verticalmente para cima; pois, se uma carga de prova positiva fosse colocada neste ponto, ela ficaria sob a ação de uma força com aquela direção e naquele sentido. Então, podemos verificar que, em P3 e P4 , os vetores 3 e 4 têm as direções e os sentidos indicados na fig.03.



Disponível em: <<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/fisica/campo-eletrico-1.php>>

Suponha, agora, que a carga que cria o campo seja negativa, como mostra a fig. 04. Neste caso, se colocássemos a carga de prova positiva em P1, ela seria atraída por Q com uma força para a esquerda. Portanto, o vetor campo elétrico estaria agora dirigido para a esquerda (sempre no

mesmo sentido da força que atua na carga de prova positiva). Seguindo esta orientação, podemos concluir que em P2, P3 e P4 o vetor campo elétrico será representado pelos vetores 2, 3 e 4 mostrados na fig. 04.



Disponível em: <<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/fisica/campo-eletrico-1.php>>

2. Movimento de cargas em um campo elétrico

Suponha que uma carga positiva q seja colocada no ponto P1 da fig.03, onde existe um campo elétrico 1 criado por Q . A carga q será repelida por Q com uma força dirigida para a direita e, conseqüentemente, ela tenderá a se deslocar no sentido desta força. Já que, o vetor 1 tem o mesmo sentido desta força, concluímos que a carga positiva q tende a se deslocar no sentido do campo elétrico. Se esta mesma carga positiva q for colocada no ponto P1 da fig.04 (campo criado por carga negativa), ela será atraída pela carga Q e tenderá, também neste caso, a se deslocar no sentido do campo elétrico 1.

De maneira geral podemos verificar que, em qualquer ponto que a carga positiva q for abandonada, ela tenderá a se deslocar no sentido do vetor do campo elétrico existente naquele ponto.

Imagine, agora, que coloquemos no ponto P1 da fig.03 uma carga negativa q (lembramos que em P1, existe um campo elétrico 1 dirigido para a direita, produzido pela carga Q). Nestas condições, a carga q será atraída por Q e tenderá, então, a se deslocar em sentido contrário ao campo 1. Se deslocarmos a carga negativa q no ponto P1 da fig.04, ela será repelida pela carga negativa Q e, da mesma maneira, tenderá a se deslocar em sentido contrário ao do vetor 1.

A seguir colocamos um texto didático preparado para o Projeto Educar. Note que nele o autor procura puxar na memória do aluno fatos do seu cotidiano. Em seguida, contextualiza os fatos históricos que levaram a formulação da teoria. Depois descreve os fatos empíricos que levaram à conclusão do princípio físico ou lei.

CAMPO ELÉTRICO

No nosso dia a dia convivemos com diferentes tipos de forças, uma das mais comuns são as forças de contato, tal como puxar ou empurrar algum objeto sobre uma mesa ou mesmo chutando uma bola de futebol. Em contra partida, existem duas forças que agem a distância, são elas as forças gravitacional e elétrica, isto quer dizer que, existe força mesmo que dois objetos não estejam em contato.

Forças agindo a distância foram um dos problemas mais complexos tratados pelos nossos pensadores antepassados. Os primeiros passos concretos dados na compreensão e descrição matemática deste problema foi dado por Newton ao estudar a influência da força gravitacional sobre os objetos na face da Terra.

Destes estudos surgiu a lei da gravitação universal. Uma forma extremamente valiosa para entender este fenômeno, vem da proposição de Michael Faraday (1791-1867) em criar o conceito de campo elétrico. Assim, um dos propósitos do uso de campos elétricos é evitar o conceito de ação a distância.

De acordo com Faraday, o campo elétrico emanaria de qualquer carga, tanto das positivas quanto das negativas, e que permearia todo o espaço em torno das mesmas. Ele admitiu ainda que uma segunda carga colocada na presença da primeira sentiria o campo elétrico produzido pela primeira carga. Este campo é que seria o responsável para o aparecimento da força elétrica.

Ora, se isto é verdade, então deve existir uma conexão direta entre o campo elétrico e a força eletrostática de acordo com a lei de *Coulomb*. A correlação entre estes dois entes pode ser determinada reorganizando a expressão para a força como a seguir

$$\vec{F} = kq_0 \sum_{i=1}^N \frac{q_i}{r_1^2} \hat{r}_1 = q_0 \left(k \sum_{i=1}^N \frac{q_i}{r_1^2} \hat{r}_1 \right) = q_0 \vec{E}$$

Disponível em: <<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/fisica/campo-eletrico-1.php>>

ou simplesmente

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$$

Disponível em: <<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/fisica/campo-eletrico-1.php>>

onde \vec{E} é um vetor, o qual denominamos de vetor campo elétrico. De acordo com Faraday este campo elétrico é devido a uma distribuição discreta de cargas. Ele permeia todo espaço em torno das cargas. Idealmente, \vec{E} é definido como \vec{F}/q para o caso limite de $q \rightarrow 0$.

Como consequência da definição, do vetor \vec{E} , observe que, se uma carga pontual positiva (q_0) for colocada em um ponto P onde existe campo elétrico, ela ficará sujeita a uma força na mesma direção e sentido do campo elétrico, isto é, ela tende a se mover no sentido do vetor E. Se uma carga negativa for colocada no mesmo ponto, ela tenderá a se mover em sentido contrário ao campo, como estabelece a equação.

Desta maneira, conforme havíamos dito, o vetor \vec{E} caracteriza o campo elétrico. Conhecendo \vec{E} em cada ponto do espaço, podemos prever a ação deste campo sobre cargas colocadas dentro dele, sem que seja necessário conhecermos a distribuição de cargas que criou o campo.

Em suma, podemos dizer que o campo elétrico, em qualquer ponto do espaço, é um vetor cuja direção é a direção da força sobre uma carga de prova positiva e que sua magnitude é a força por unidade de carga. Dessa forma, \vec{E} tem unidades de Newton por Coulomb (N/C).

É importante ressaltar que, pela definição de \vec{E} , o campo elétrico não depende da carga de prova e sim apenas da distribuição que o gerou.

No caso de um campo \vec{E} criado por uma única carga temos que;

$$\vec{E} = k \frac{q}{r^2} \hat{r}$$

Disponível em: <<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/fisica/campo-eletrico-1.php>>

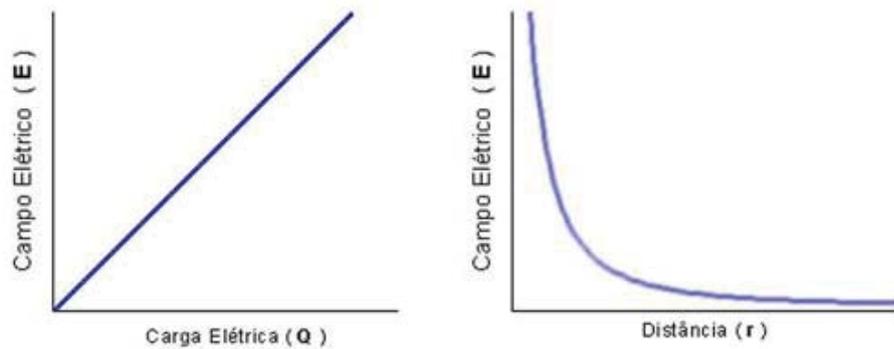
cujo módulo, denominado algumas vezes por intensidade do campo E, é dado por:

$$E = k \frac{Q}{r^2}$$

Disponível em: <<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/fisica/campo-eletrico-1.php>>

onde r é o ponto do espaço onde está se observando o campo \vec{E} .

Observe na expressão que o campo elétrico é diretamente proporcional a carga Q e inversamente proporcional ao quadrado de r (distância do ponto de observação). Os gráficos de E x Q e E x r (Fig.9) são mostrados a seguir:



Campo Elétrico em função da carga e da distância

Disponível em: <<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/fisica/imagens/campo-eletrico-007-g.jpg>>

Lembramos que, o campo elétrico depende da intensidade de carga, assim como, da forma em que elas estão distribuídas.

Como cada pedaço pequeno do corpo pode ser considerado como uma carga pontual pode-se daí calcular o campo resultante somando vetorialmente as contribuições devido a cada uma destas partes infinitesimais.

Esta soma de um grande número (quase infinito) de parcelas infinitesimais é determinada usando o cálculo integral.

De forma semelhante ao caso da potencial elétrico podemos construir equações para o Campo Elétrico para diferentes distribuições de cargas, como mostraremos a seguir. Vimos também que o campo elétrico produzido por cargas elétricas pode ser escrito em termos da força elétrica pela lei de *Coulomb*;

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$$

Disponível em: <<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/fisica/campo-eletrico-1.php>>

e

$$\vec{E} = k \frac{q}{r^2} \hat{r}$$

Disponível em: <<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/fisica/campo-eletrico-1.php>>

TEXTO RETIRADO DO PROJETO *LADIF*

Na nossa infância, apenas os mágicos e os fantasmas conseguiam mover objetos sem tocar. Por essa razão é difícil aceitar que isso aconteça na natureza. Um físico chamado Faraday certamente não gostava da ideia de ação a distância e apresentou outro modelo para explicar essas forças, porque não se deixou enganar pelos seus sentidos. Imaginou que as cargas elétricas e os ímãs deviam criar, na sua vizinhança, uma espécie de ‘fantasma’, invisível, inodoro e imperceptível ao seu tato. Os puxões e empurrões sobre objetos, outras cargas elétricas e outros ímãs seriam da responsabilidade desses ‘fantasmas’. Para isso, o ‘fantasma’ deve ocupar todo o espaço: só assim ele poderia estar sempre em contato com outras cargas e outros ímãs.

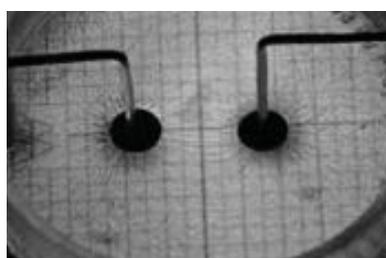


Figura 12A - Terminais condutores com cargas q e $-q$ imersos em óleo coberto com fubá. (ALMEIDA. P. 22. Disponível em: <<http://omnis.if.ufrj.br/~ladif/tea/fenel/eletro-capitulo2.pdf>>)

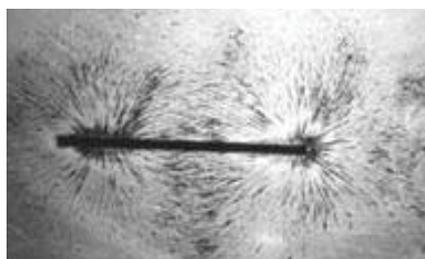


Figura 12B – Limalha de ferro espalhada sobre uma placa de acrílico colocada sobre um ímã (ALMEIDA. P. 22. Disponível em: <<http://omnis.if.ufrj.br/~ladif/tea/fenel/eletro-capitulo2.pdf>>)

Para visualizar o ‘fantasma elétrico’, imergimos as cargas elétricas em óleo e jogamos fubá sobre ele (Figuras 12A); para visualizar o ‘fantasma magnético’, é só jogar limalha de ferro nas vizinhança dos ímãs (veja a Figura 12B). Faraday chamou as linhas observadas de linhas de força elétrica e linhas de força magnética. Para ele, essas linhas tinham as propriedades de elásticos reais.

O fubá se organiza sobre as linhas de força quando é colocado sobre um óleo viscoso. A força viscosa que o óleo exerce sobre o fubá evita

que ele seja completamente arrastado na direção das cargas elétricas. Na Figura 13A temos uma camada de óleo coberta por fubá e dois terminais metálicos lineares paralelos e descarregados. O fubá está igualmente distribuído na superfície do óleo. Na Figura 13B, temos uma camada de fubá e dois terminais metálicos lineares carregados. O terminal da direita está com carga elétrica positiva e o da esquerda, com carga elétrica negativa. As distribuições do fubá nas duas imagens são diferentes. Na Figura 13B existem linhas paralelas entre os terminais, linhas curvas nas extremidades dos terminais e nenhuma linha atrás dos terminais.

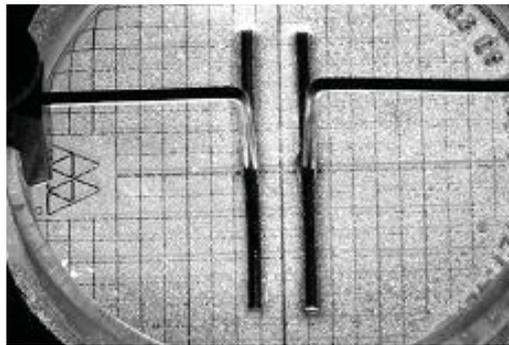


Figura 13A – Terminais lineares descarregados imersos em óleo coberto com fubá
(ALMEIDA. P. 23. Disponível em: <<http://omnis.if.ufrj.br/~ladif/tea/fenel/eletro-capitulo2.pdf>>)

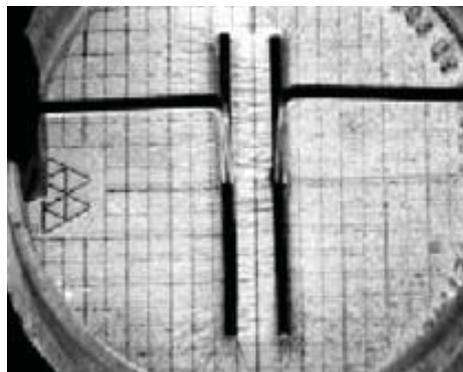


Figura 13B – Terminais lineares com cargas q e $-q$ imersos em óleo coberto com fubá
(ALMEIDA. P. 23. Disponível em: <<http://omnis.if.ufrj.br/~ladif/tea/fenel/eletro-capitulo2.pdf>>)

Para Faraday, as linhas eram elásticos que atuavam nas cargas elétricas. Os terminais positivo e negativo se atraem porque são puxados pelos elásticos. Os terminais não se aproximam porque estão presos na cuba que contém o óleo. A interação entre as linhas e os terminais é de contato. Hoje em dia não se fala mais sobre elásticos e sim em campo elétrico. O campo elétrico é um conjunto de vetores responsáveis pelas forças elétricas. Eles são criados pelas cargas elétricas em todo o espaço. São os vetores do campo elétrico que estão em contato com os terminais que exercem forças sobre eles.

Os vetores do campo elétrico são sempre tangentes às linhas de força, e são mais intensos onde existe uma concentração maior de linhas de força. Os módulos desses vetores são proporcionais ao número de linhas de força por unidade de área perpendicular a elas.

Na Figura 13B, na região central, entre os terminais, a concentração de linhas de força é aproximadamente constante e as linhas são perpendiculares aos terminais. Isso significa que nessa região os vetores do campo elétrico são praticamente constantes e perpendiculares aos terminais. As linhas curvas nas extremidades dos terminais indicam que os vetores do campo elétrico são variáveis. A inexistência de linhas atrás dos terminais está associada a vetores do campo elétrico muito fracos ou nulos.

Essas ideias foram estendidas à força gravitacional. Dizemos que as massas criam um campo gravitacional; são os vetores do campo gravitacional que, em contato com outras massas, exercem forças sobre elas.

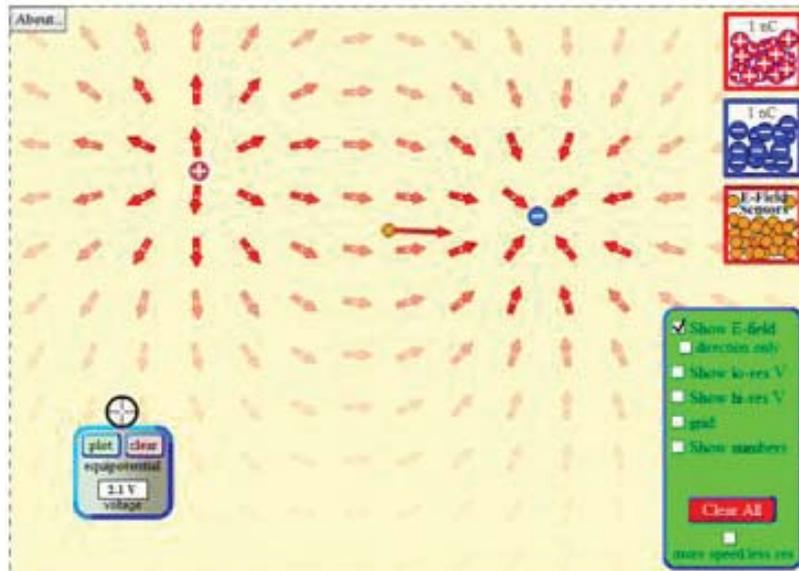
É difícil aceitar as ideias do modelo de ação a distância e do modelo do campo porque, no primeiro modelo uma carga é capaz de exercer força sobre a outra sem tocá-la, e no segundo modelo que quem exerce a força sobre a carga é o campo elétrico que também não é percebido pelos nossos olhos. A opção por um modelo em Física está na simplicidade dos seus conceitos e na facilidade com que se explicam os fenômenos associados a eles. A dificuldade de explicar a interação entre cargas elétricas em repouso é equivalente nos dois modelos. A diferença entre eles aparece quando se deseja estudar sistemas que têm cargas elétricas ou/e ímãs em movimento. Foi graças às ideias de Faraday que se descobriram os princípios que permitiram construir o *walkman*, a televisão etc. Hoje em dia, a maioria dos físicos aceita a ideia de campo elétrico sem muita dificuldade. Uma teoria que descreve a interação elétrica com o conceito de campo elétrico não pode ser incompatível com os resultados experimentais. Portanto, é preciso definir o campo elétrico de tal forma que os resultados experimentais sejam respeitados. Quer dizer: a força que os vetores do campo elétrico exercem sobre as cargas elétricas tem que respeitar a Lei de *Coulomb* e o princípio da superposição.

APPLETS DE ENSINO

Como nas outras duas instrumentações, sugerimos alguns *sites* de ensino com material de multimídia para você analisar. Segue abaixo um guia de *applets* com dicas.

1. Explique o princípio de funcionamento do *applet* do curso da Universidade do Colorado. Acesse através do link: <<https://sites.google.com/site/professorpifer/Home/fisica-mix/eletromagnetismo>>.

Você pode colocar quantas cargas você quiser na tela e uma partícula como sensor de campo. Junto com o sensor de campo vai um vetor campo elétrico. Arraste-o. Não se esqueça de ativar o campo “*Show E-field*”.



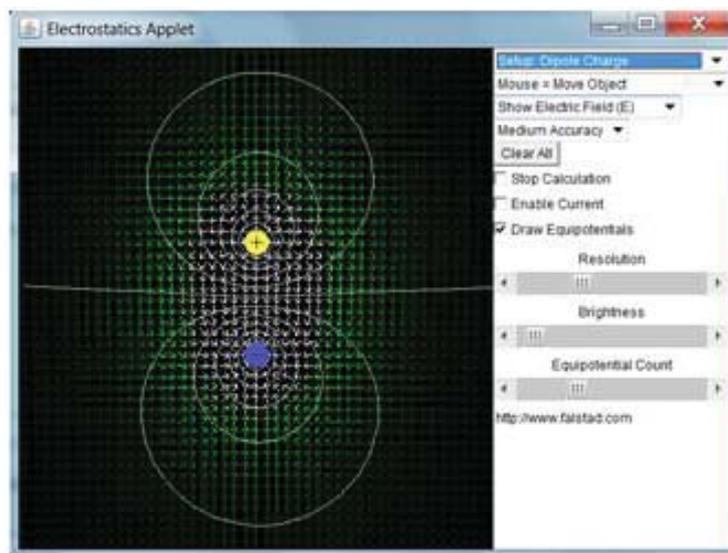
Disponível em <<https://sites.google.com/site/professorpifer/Home/fisica-mix/eletromagnetismo>>

2. Explore esse excelente *applet* do Professor Falstad, acessando o link: <<http://www.falstad.com/emstatic/>>.

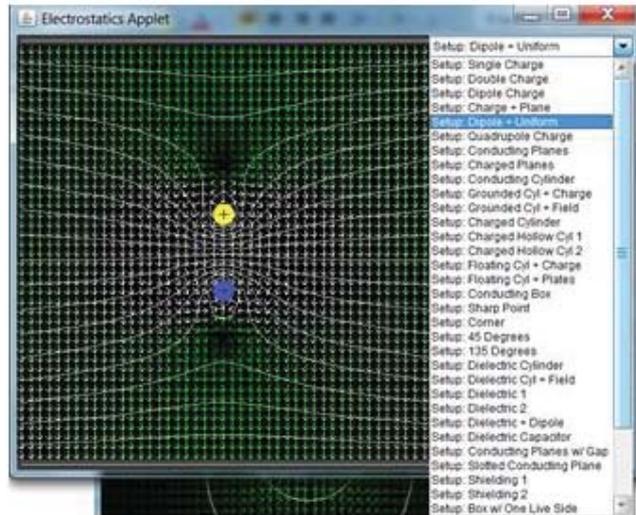
Note que você pode arrastar as cargas e escolher vários tipos de arranjos de carga.

Q1. Que figura você espera obter se selecionar: quadrupole charge.

Q2. Que figura você espera obter se selecionar: charge + plane.



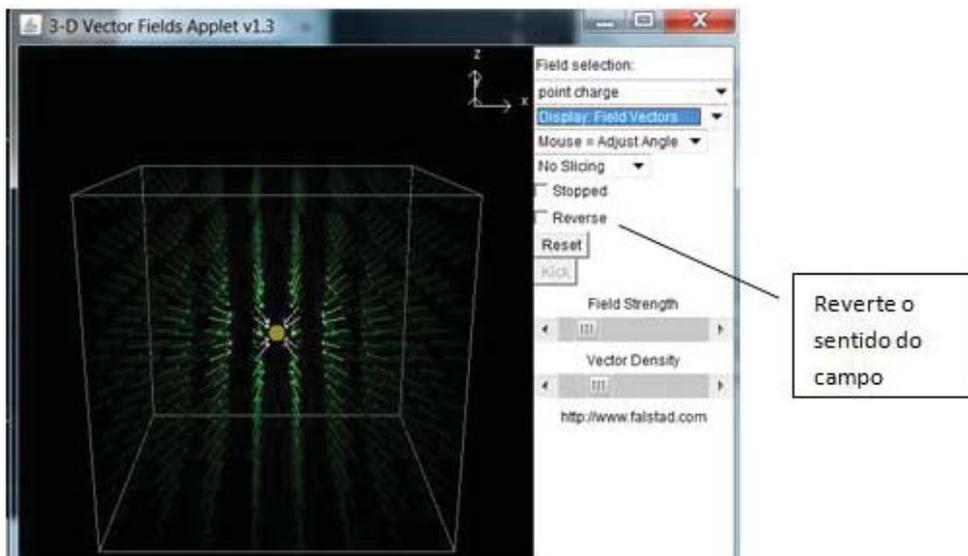
Disponível em <<http://www.falstad.com/emstatic/>>



Disponível em <<http://www.falstad.com/emstatic/>>

3. Explore esse excelente *applet* do Professor Falstad, acessando o link: <<http://www.falstad.com/emstatic/>>

Note que você pode arrastar a caixa para visualizar o campo de várias posições.



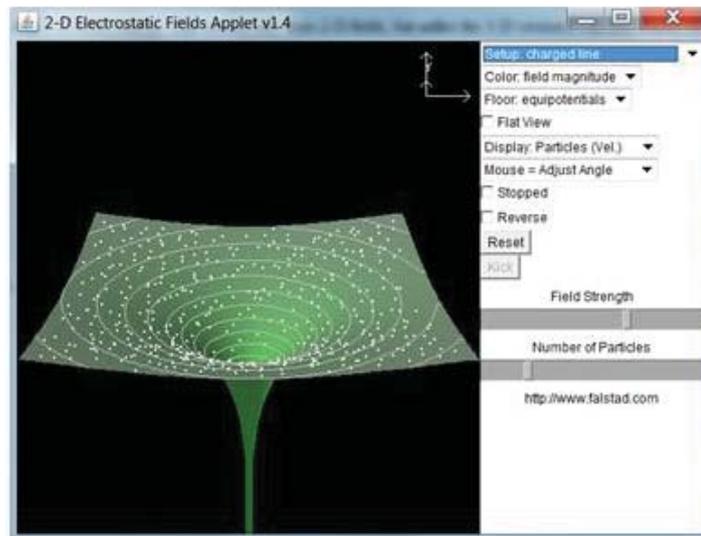
Disponível em <<http://www.falstad.com/emstatic/>>

Q1. Que figura você espera obter se selecionar: quadrupole charge.

Q2. Que figura você espera obter se selecionar: charge + plane.

4. Explore esse excelente *applet* do Professor Falstad, acessando o link: <<http://www.falstad.com/emstatic/>>.

Note que você pode arrastar a caixa para visualizar o campo de várias posições.



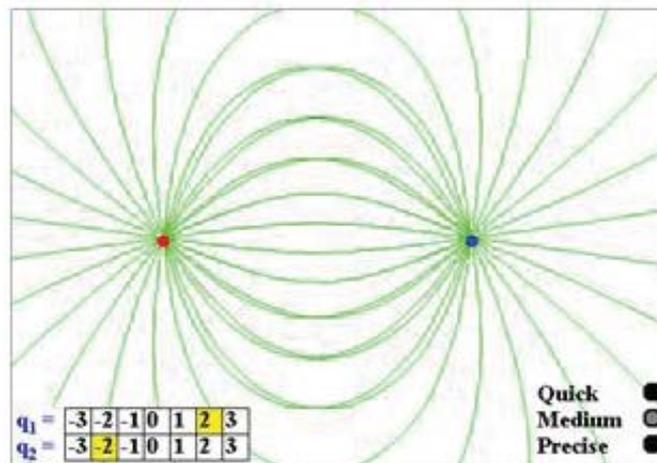
Disponível em <<http://www.falstad.com/emstatic/>>

Q1. Que figura você espera obter se selecionar: quadrupole.

Q2 . Que figura você espera obter se selecionar: dipole.

5. Explore esse excelente *applet* do *site lecture on line*. Neste *applet* você pode mover as duas cargas, arrastando-os com o *mouse*. Você também pode alterar suas magnitudes (e sinais), clicando sobre as caixas. Link: <http://lectureonline.cl.msu.edu/~mmp/kap18/RR447app.htm>.

Field Lines



Disponível em <http://lectureonline.cl.msu.edu/~mmp/kap18/RR447app.htm>.

VIDEOS AULAS

1. Acesse o video que explica o conceito de campo elétrico, através do link: <<http://www.youtube.com/watch?gl=BR&feature=related&hl=pt&v=6UKxj7cba68>>.

2. Acesse o vídeo que define campo a partir do conceito de força elétrica, através do link: <http://www.youtube.com/watch?v=hInQeiyv-5o&feature=related>.
3. Acesse o vídeo sobre linha de campo de um dipolo, através do link: http://www.youtube.com/watch?v=Uvfa7sN_SCY&feature=related.



1. Qual dos dois textos, Portal São Francisco ou do projeto Educar, você usaria como referência para ministrar uma aula sobre campo elétrico? Por quê?
2. Você concorda com as resoluções do PNLEM que “obrigam” (sinalizam) aos novos livros didáticos, dentre outras coisas, a mostrar que a ciência é um produto histórico e social e que não é um produto acabado (pronto) devido ao trabalho de sociedades privilegiadas? Comente?
3. Do seu ponto de vista, qual é o conceito mais intuitivo para os estudantes do 2º grau: Força ou campo?
4. Como você ilustraria o conceito de campo elétrico para seus (futuros) alunos?
5. O que você acha do texto tirado do LADIF? Você acha factível a experiência com fubá?
6. Devido ao alto grau de abstração muitos físicos e grupos de ensino estão fazendo animações gráficas e *applets* que demonstram virtualmente as linhas de campo. Colocamos alguns *links* acima para você poder explorar alguns deles. Faça um comentário a respeito deles.
7. Com o advento da televisão alguns grupos de ensino e ou instituições estão fazendo vídeos aulas sobre temas interessantes e complexos de física. Colocamos alguns *links* acima para você explorá-los. Faça um comentário a respeito deles.
8. Colocamos acima alguns exemplos e/ou *links* de experimentos de baixo custo para você analisar a possibilidade de usá-los em sala de aula. Comente se você os usaria ou não como recurso didático em sala de aula? Comente.

CONCLUSÃO

Na aula anterior mostramos um texto didático que apresenta a Física como sendo um conjunto de leis e que deixa a impressão ao estudante do ensino médio de que a Física é uma matéria muito matematizada, abstrata e de difícil entendimento. Através da análise da biografia de Michael Faraday o futuro professor deve ter ficado se perguntando se ela deve sempre ser apresentada assim.

O estudante deve ter ficado ciente de que a dificuldade de se ter a disposição experimentos de baixo custo sobre campo elétrico, fez com que muitos físicos e grupos de ensino desenvolvem-se vários e excelentes applets e simuladores de campo elétrico, e que estes podem ser usados como ótimos recursos de apoio didático.

Com a análise dos experimentos de baixo custo e dos recursos de multimídias que colocamos no final da aula o futuro professor deve ter ficado com algumas boas idéias de como este pode enriquecer uma aula sobre o tema Lei de *Coulomb*.

COMENTÁRIOS SOBRE AS ATIVIDADES

O aluno deve começar a se ver como futuro professor. Isto é, ele deve começar a ver a física não como matéria ser aprendida e sim como a ser ensinada. Aqui ele deve começar a enxergar as diversas possibilidades que o mundo moderno lhe oferece como educador.

Como o conceito de Campo é muito abstrato, focamos essa aula nas atividades experimentais, applets e nas vídeos aulas.



RESUMO

Nesta aula apresentamos a história de um cientista, Faraday, que apesar de seus poucos (muito pouco) conhecimentos e domínio de matemática se tornou um dos mais importantes e célebres cientistas modernos. Através dessa biografia discutimos se a matemática possui tanta importância assim para a Física do ensino médio. Discutimos o problema de se ensinar o conceito de campo em vez de força.

Em seguida apresentamos vários experimentos de baixo custo para que o aluno explore as possibilidades que estes oferecem para se ministrar um curso usando mais ferramentas fenomenológicas e menos formais. Devido a grande dificuldade que os estudantes tem de visualizar o campo resultante de várias cargas, colocamos vários e excelentes *applets* de ensino

como recurso de simulação de fenômeno físico para ser explorado pelo futuro professor.

Como há ótimos vídeos de ensino colocamos alguns deles como referência, e deixamos sua exploração como atividade para os estudantes. Neste curso de instrumentação I não usamos os vídeos didáticos como ferramenta didática principal.

RESPOSTA DAS ATIVIDADES

- 1 - Resposta pessoal
- 2 – Sim, pois a educação deve mostrar que o conhecimento e sua produção depende de condições sociais e da capacidade humana
- 3 – Força
- 4 – Espero que com experimentos *applets* e vídeos.
- 5 – É possível de ser realizado, mas dá muito trabalho.
- 6 – São muito bons. Resposta pessoal
- 7 - São muito bons. Resposta pessoal
- 8 - São muito bons. Resposta pessoal

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. A. **Projeto Ladif**. Disponível em <<http://omnis.if.ufrj.br/~ladif/tea/fenel/eletro-capitulo2.pdf>> p. 22 e 23. Acesso em 15/10/2011.

APPLETS-ELETROMAGNETISMO. Universidade do Colorado. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/professorpifer/Home/fisicamix/eletromagnetismo>>. Acesso em 15/10/2011.

EXPLICATORIUM. Disponível em: <<http://www.explicatorium.com/Michael-Faraday.php>>. Acesso em 15/10/2011.

PORTAL SÃO FRANCISCO. Disponível em: <<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/fisica/campo-eletrico-1.php>>. Acesso em 15/10/2011.

PROGRAMA EDUCAR. CDCC- São Carlos – USP. Disponível em <www.educar.sc.usp.br>. Acesso em 15/10/2011.

YOUTUBE. **Campo Elétrico**. Disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?gl=BR&feature=related&hl=pt&v=6UKxj7cba68>>. Acesso em 15/10/2011.

_____. **Campo Elétrico**. Disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=hInQeiyv-5o&feature=related>>. Acesso em 15/10/2011.

_____. **Lineas de campo**. Disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=Uvfa7sN_SCY&feature=related>. Acesso em 15/10/2011.

WIKIPÉDIA, A enciclopédia livre. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Michael_Faraday>. Acesso em 15/10/2011.