

# Aula 2

## FORÇA ELÉTRICA E O PSSC

### META

Fazer 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, que o conceito de força elétrica pode ser apreendido de forma simples e divertida.

Fazer uma análise comparativa entre o texto produzido para o projeto de ensino PSSC e o projeto *Gref* sobre o tema força elétrica, de modo que, o aluno possa analisar duas formas de se apresentar este conceito e como a forma de se ensinar física evoluiu até o presente.

Levantar a questão da importância dos projetos de ensino de Física (ciência).

### 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 a compreensão e matematização dos conceitos físicos (naturais em geral).

Ficar ciente das vantagens e desvantagens de se apresentar um conteúdo de forma resumida e de uma forma mais extensa e histórica. Mostrar aos estudantes que os livros didáticos são frutos dos projetos de ensino de física.

### PRÉ-REQUISITOS

Os alunos deverão ter cursado as disciplinas Psicologia da Educação, Física A, Física B e Instrumentação I.

Vera Lucia Mello

### INTRODUÇÃO

Estudamos na aula anterior, como podemos carregar um material eletricamente e as propriedades das cargas elétricas. Neste capítulo, estudaremos como podemos medir a força que aparece entre dois materiais carregados eletricamente, ou seja, a força elétrica ou Lei de *Coulomb*. Também veremos como se pode expressar a lei matemática que descreve essa força. Na aula anterior, discutimos se precisamos usar os conhecimentos modernos sobre a estrutura da matéria para podermos explicar a física da eletrização. Nessa aula, usaremos o material didático produzido para o projeto de ensino PSSC para discutirmos a questão de que os livros textos devem ou não ensinar Física dentro do contexto histórico, com muito texto e experiências de apoio.

No curso de Instrumentação para o Ensino de Física I, introduzimos um resumo sobre os projetos de ensino. Chegou o momento de analisarmos com mais cuidado o material confeccionado para estes projetos e sua filosofia de aprendizado. Nesta aula iniciaremos com o projeto do *Physical Science Study Committee* (PSSC), pois, este foi o projeto pioneiro e seguiremos as próximas aulas apresentando o projeto *Harvard*, o PEF e o *Gref*. Analisaremos o material elaborado para ministrar o tema força elétrica e iremos compará-lo com o texto do projeto *Gref* para podermos visualizar o que ocorreu com o ensino no Brasil nas últimas décadas.

Antes de introduzir os textos faremos um breve resumo da história do PSSC para ficar claro o contexto em que foi criado e o contexto em que este material de ensino está inserido.

### CONTEXTO HISTÓRICO E SURGIMENTO DO PROJETO

O contexto social, econômico e político sempre influenciou, e influenciará as concepções e perspectivas envolvidas no ensino de ciências. Não há como falar do ensino de Física no Brasil sem falar do ensino de Física internacional e do contexto histórico que ele esteve inserido.

No início da década de 50 do século passado, nos EUA, os integrantes do N.S.F. (*National Science Foundation*) começaram a perceber que o ensino de ciências aos jovens americanos mostrava-se deficitário: os estudantes terminavam sua formação inicial com pouco, ou quase nenhum, conhecimento específico em Matemática, Física, Química e Biologia. Com isso iniciou um movimento de renovação do ensino de ciências, que se estendeu, posteriormente, à Europa e aos demais continentes.

Em 1956, um grupo de professores universitários, de professores de Física em nível secundário (*high school*) e do Instituto de Tecnologia de *Massachusetts* (MIT), liderados por Jerrold Zacharias e Francis Friedman, formou o *Physical Science Study Committee* (PSSC) para pensar e propor ma-

neiras de reformular o ensino de Física em cursos introdutórios. O grupo reuniu cientistas, professores, psicólogos, escritores, fotógrafos, técnicos em filmagem e outros, num total de 282 pessoas, cujos esforços estavam voltados para produzir um novo curso de Física para a escola secundária norte-americana. Aqueles educadores decidiram que livros textos adequados poderiam estimular, pelo menos em parte, o interesse dos estudantes pelo assunto, levá-los a pensar como cientistas e disponibilizar oportunidades para que resolvessem problemas da mesma forma que um físico.

Poderíamos dizer que o projeto de Física PSSC foi um dos maiores representantes do movimento inovador no ensino de ciências. Ele foi uma das primeiras iniciativas de pensar e efetivar um ensino de física atualizado, motivador e eficiente.

Até esta época, o ensino de Física era baseado principalmente nos livros-textos (paradigma dos livros), com muita matematização e pouca discussão dos conceitos envolvidos. O PSSC representa uma mudança do paradigma dos livros para o paradigma dos projetos.

Acontecimentos como a corrida armamentista, a escassez de profissionais atuantes na área de ciências exatas e o desânimo dos jovens perante o prosseguimento de uma carreira científica, juntamente com o advento do lançamento do *Sputnik*, serviram como incentivo de financiamentos para o desenvolvimento do projeto PSSC. Em especial, o lançamento em 1957 do primeiro satélite artificial da Terra, o *Sputnik I*, pela antiga União Soviética, fato este que foi atribuído ao avanço tecnológico e científico soviético e também ao seu ensino, causou um grande impacto na sociedade americana e promoveu uma mobilização nacional para reverter este quadro, o que resultou em grandes investimentos financeiros para o PSSC.

Na verdade, criou-se um programa nacional de desenvolvimento tecnológico, em que o PSSC e outros projetos na área de ciências estavam incluídos, no qual também fez parte a criação da NASA. Por esses e outros motivos, inicialmente cinco milhões de dólares foram disponibilizados, valor significativamente alto e revolucionário para o período. Neste âmbito, pode-se dizer que o PSSC é uma referência na história dos projetos de ensino, pois foi o primeiro desenvolvido em larga escala, além de ser um dos precursores na preparação de material didático específico para o ensino de Física.

Para muitos historiadores, essa pressão da Guerra Fria foi o que possibilitou o desenvolvimento do PSSC, pois nada além de uma crise de segurança nacional justificaria o esforço investido, que custou ao longo dos anos mais de 200 milhões de dólares. O apoio financeiro foi dado inicialmente pela N.S.F., sendo que, também contribuíram na manutenção do programa, a Fundação Ford e a Fundação Alfred P. Sloan.

A primeira edição do PSSC *Physics* foi publicada em 1960, pela D.C. *Heath&Co*. Embora tenha sido desenvolvido nos Estados Unidos, o curso

de Física do PSSC (*Physical Science Study Committee*) é um bom ponto de partida para uma breve análise retrospectiva do ensino de Física, no ensino médio e em nível internacional. Sua tradução para o português foi liderada por uma equipe do IBECC entre os anos 1961/64 na Universidade de São Paulo e foi publicado no Brasil pela Editora Universidade de Brasília. O material experimental foi produzido pela Funbec (Fundação Brasileira para o Desenvolvimento do Ensino de Ciências), empresa criada em 1966 e que teve na produção desses equipamentos sua principal atividade inicial. Não era, simplesmente, um novo livro de Física para a escola média. Era um projeto curricular completo, com materiais instrucionais, educativos, inovadores e uma filosofia de ensino de Física, destacando procedimentos físicos e a estrutura da Física.

### METODOLOGIA E FILOSOFIA DO PSSC

O PSSC se constituiu em um projeto com uma proposta metodológica revolucionária, utilizando material textual diferenciado, com uma linguagem moderna e uma seqüência conceitual nova, incorporando tópicos conceituais até então pouco explorados. A motivação filosófica do PSSC baseava-se na busca da participação ativa do aluno em todas as atividades. Assim sendo, com os diferentes recursos didáticos buscava sempre uma inter-relação entre situações-problema, prática experimental e desenvolvimento teórico da Física, apresentando ao aluno uma visão diferenciada da ciência escolar, aproximando-a da atividade científica.

O PSSC se compunha de um texto básico que sintetizava a filosofia da proposta, segundo o Guia do Professor “nele a Física é apresentada não como um simples conjunto de fatos, mas basicamente como um processo em evolução, por meio do qual os homens procuram compreender a natureza do mundo físico”

A primeira edição do PSSC surgiu em 1960, seguida por muitas edições subsequentes, o material didático criado pelo PSSC foi projetado para enfatizar os princípios fundamentais da Física, encorajando o engajamento e envolvimento em oposição à memorização, tornando o assunto mais atraente aos estudantes e utilizando todos os meios disponíveis na época como filmes, *slides*, livros, laboratório, trabalhos de casa e leituras auxiliares. O material de leitura auxiliar incluía o “*The Science Study Series*” (“Série Estudos de Ciência”, publicado pela EDART - São Paulo), uma série de divulgação científica voltada para o público em geral.

O material do PSSC incentivava a participação ativa do estudante através de uma ação pedagógica que deveria promover discussões, estimuladas pelo contato com questões abertas e com a manipulação experimental. Essa manipulação experimental era realizada exigindo que todos os estudantes realizassem o experimento ao mesmo tempo. Os *kits* de experiência eram

acompanhados por guias que explicavam o funcionamento do equipamento e que forneciam informações básicas sobre a atividade, sem, contudo, detalhá-las. Os “guias de laboratório” que acompanhavam os experimentos afastavam-se das conhecidas fórmulas “*cook-book*” (roteiros prontos para a realização dos experimentos, em que o estudante deve seguir instruções detalhadas e sequenciais).

O Guia do Professor orientava a atividade do docente, sobretudo em relação à ênfase a ser dada aos diferentes conteúdos. Apresentava conteúdos suplementares e notas de laboratório em que eram dadas informações auxiliares e indicados os momentos mais adequados para que os alunos realizassem com maior proveito as atividades experimentais sugeridas.

Em síntese, o PSSC estava centrado, de um lado, em uma nova proposta curricular de Física, e de outro, no entendimento de que o aluno só poderia aprender ciência por si, a partir da atividade experimental, como se dizia no prefácio do guia de laboratório incluído no texto básico: “As idéias, os conceitos, e as definições, só têm, na verdade, um sentido efetivo quando baseados em experiências”. E essas experiências dariam ao aluno a possibilidade de simular o papel do cientista na descoberta da ciência, como se afirmava logo adiante: “Ao realizar experiências cujo resultado, de antemão, lhe é desconhecido, fica o aluno tomado por uma sensação de participação pessoal nas descobertas científicas; tornam-se-lhe mais significativas a ciência e a importância do cientista.”

## ESTRUTURA DO CURSO

O Curso do PSSC compreende quatro partes estreitamente interligadas. São quatro livros textos do aluno com respectivos Guias do Professor, além dos *kits* de experiência, guias de laboratório, filmes e leituras complementares.

## OS LIVROS TEXTOS DOS ALUNOS

A tabela traz os capítulos presentes nos quatro livros textos dos alunos. A tabela apresenta também a proposta de quais capítulos deveriam ser aplicados a cada um dos 3 anos do curso científico, assim como, o número de aulas teóricas e de aulas prática.

		Capítulo	Semanas	Aulas teóricas	Aulas práticas	Nº de exp.
1º Científico	Parte I – O Universo	1. O que é física?	7,5	2	–	–
		2. Tempo e sua medição		4	4	1
		3. Espaço e sua medição		4	5	2
		4. Funções e escalas		6	5	1
	5. Movimento ao longo de uma trajetória	5	7	5	1	
	6. Vetores		8	–	–	
	7. Massa, elementos, átomos	7	4	10	3	
	8. Átomos e moléculas		5	–	–	
	9. A natureza de um gás		4	3	1	
	10. Mensuração		2	–	–	
2º Científico	Parte II – Óptica e ondas	11. Comportamento da luz	10,5	2	–	–
		12. Reflexão e imagens		5	8	2
		13. Refração		5	4	1
		14. Lentes e instrumentos ópticos		5	5	1
		15. Modelo corpuscular da luz		4	4	2
	16. Introdução às ondas	9	2	2	1	
	17. Ondas e luz		2	10	4	
	18. Interferência		3	5	2	
	19. Ondas luminosas		4	7	4	
Parte III – Mecânica	20. A lei do movimento de Newton	10	3	12	4	
	21. Movimento na superfície da Terra		11	6	2	
	22. Gravitação Universal e o Sistema Solar		5	3	1	
	23. A quantidade de movimento e sua conservação	12	9	8	3	
	24. Trabalho e energia cinética		8	2	1	
	25. Energia potencial		7	5	2	
	26. Calor, movimento molecular e conservação de energia		6	2	1	
3º Científico	Parte IV – Eletricidade e estrutura atômica	27. Alguns fatos qualitativos sobre a eletricidade	8	5	3	2
		28. A lei de Coulomb e a carga elétrica elementar		8	5	2
		29. Energia e movimento de cargas em campos elétricos		14	6	2
		30. O campo magnético		7	14	12
	31. Indução e ondas eletromagnéticas	7	9	–	–	
	32. Explorando o átomo		10	3	1	
	33. Fótons e ondas associadas à matéria		10	3	1	
	34. Sistemas quânticos e a estrutura dos átomos		8	–	–	

Tabela resumida do planejamento de tempo para aulas teóricas e aulas práticas.

Ano	Nº semanas	Aulas totais	Aulas teóricas	Aulas práticas	Nº de experimentos
1º científico	30	120	67	53	15
2º científico	31	122	60	62	25
3º científico	22 + 8	150	78 + 40	32	12

Ao final do 3º científico o programa incluía, ainda, 8 semanas (com 40 aulas teóricas) para matéria complementar.

## GUIA DO PROFESSOR

O Guia é dividido em quatro partes, correspondentes às partes I, II, III, IV do texto. Cada parte do Guia inclui uma seção introdutória, discutindo as características importantes de cada capítulo e sugerindo planejamentos dos conteúdos.

A finalidade do Guia do Professor era auxiliar os professores a introduzir o material do PSSC nos programas de classe e de laboratório. O Guia do Professor não trazia o livro texto dos alunos como ocorre hoje em dia e sim fornecia informações básicas e detalhadas sobre todo o conjunto do material, fazia sugestões concretas para atividades de classe e laboratório e discutia sessões selecionadas do curso, num nível dirigido mais aos professores do que aos alunos.

O Guia não pretende estabelecer regras rígidas e imediatas para o ensino do curso, mas sim dar sugestões, das quais algumas serão diretamente úteis e outras estimularão o desenvolvimento de outros assuntos.

Resumidamente, as funções do Guia são:

1. Colocar tópicos individuais, com realce das finalidades e do conteúdo do curso inteiro;
2. Apresentar ao professor certos tópicos do curso num grau mais elevado do que no livro texto dos alunos;
3. Sugerir o uso apropriado do material correlacionado com cada parte do texto: experiências de laboratório; filmes; problemas para casa, classe e laboratório; demonstrações; livros da “*Science Study Series*”; e ocasionalmente outros assuntos;
4. Providenciar informações detalhadas sobre o uso de experiências e aparelhos de laboratório;
5. Sugerir possíveis planejamentos para o ensino do curso;
6. Apresentar soluções para os problemas das seções para casa, classe e laboratório do texto;
7. Sugerir problemas complementares.

## OS EXPERIMENTOS

Com relação ao programa de laboratório contido no PSSC, observa-se, para a época, um espetacular avanço. O trabalho de laboratório é colocado praticamente no mesmo patamar do trabalho de conteúdo teórico, o que impõe um papel mais ativo para o aluno.

Dos mais de cinquenta experimentos que compõem seu acervo básico, alguns são de natureza qualitativa e outros são quantitativos. É importante destacar que muitos dos experimentos, do ponto de vista didático, são novidades. Entre eles destaca-se o “tanque de ondas”, para o estudo de

ondas. São experimentos que, além de fugir das tradicionais experiências demonstrativas, são inovadores na concepção do seu “*design*”.

A proposta do PSSC de que os alunos tivessem uma participação ativa nas atividades de Ensino, exigia que todos os alunos realizassem o experimento ao mesmo tempo. Isto casou a necessidade de produzir e oferecer equipamentos para todos os alunos. Estes equipamentos deveriam se caracterizar pela simplicidade e robustez, de forma a diminuir seus custos de confecção e permitir a manipulação pelos próprios alunos. Inicialmente pensou em envolver os alunos na confecção dos equipamentos, ideia que foi posteriormente afastada. A organização final dos equipamentos resultou em pequenos *kits*.

A precisão nas medidas experimentais não era o mais importante, pois a “(...) precisão exigida é determinada pelo conhecimento que você tinha antes da experiência e pela finalidade da experiência. (...) Se a determinação de um dado valor desconhecido obtido experimentalmente chegar relativamente próximo ao valor aceito como padrão, isto é sinônimo de sucesso, pois para quem desconhece o valor correto, o valor encontrado já se configura no enriquecimento do conhecimento. Porém muitas vezes é desnecessário afinar a precisão das medidas, pois a finalidade da experiência não é o valor numérico encontrado e sim a discussão de sua validade.” (retirado do “Guia do Professor para Experiências” contido no Guia do Professor, Parte I).

Somente em raras ocasiões, uma experiência deveria ser escrita em forma de relatório, era recomendado que cada aluno mantivesse suas anotações bem feitas tomando-as durante a experiência.

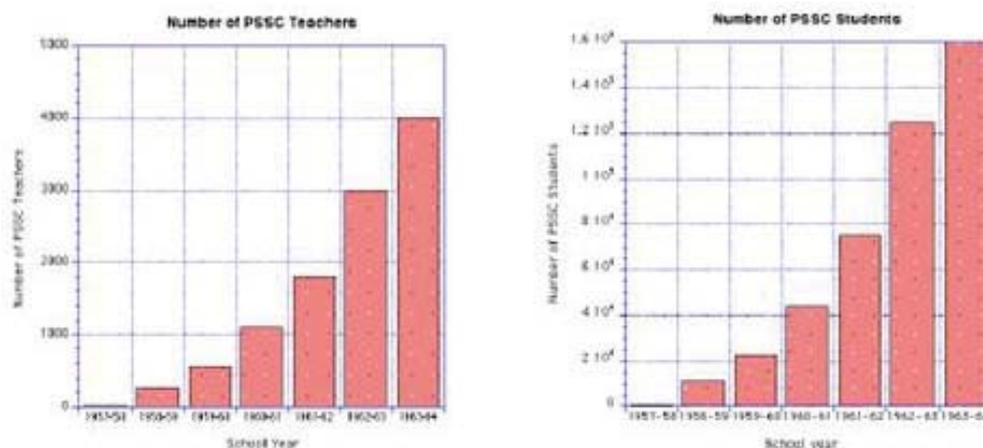
## OS FILMES

O PSSC utilizava uma série de filmes didáticos, num total de 47 filmes, elaborados com o que existia de melhor em tecnologia audiovisual e técnicas de cinematografia. Os filmes mantinham um rígido programa de Física apresentado através da experimentação e utilizavam os recursos mais modernos da época, envolvendo, por exemplo, técnicas de “*slow-motion*” e fotografias estroboscópicas em Super-8 (*looping*), com o objetivo de serem utilizados nas próprias salas de aula, inclusive com a possibilidade concreta de tomada de medidas nos experimentos filmados.

Quem tiver interesse em assistir alguns destes filmes (infelizmente, hoje, a maioria destes filmes não estão mais acessíveis) e analisar a metodologia do PSSC empregada neles, pode acessar o link, [www.archive.org/details/frames\\_of\\_reference](http://www.archive.org/details/frames_of_reference), referente ao filme da parte III “*Frames of Reference*”, ou o link, [www.archive.org/details/magnet\\_laboratory\\_1959](http://www.archive.org/details/magnet_laboratory_1959), referente ao filme da parte IV “*A Magnet Laboratory*”.

## RESULTADOS DA IMPLANTAÇÃO DO PSSC

Os diagramas a seguir mostram a evolução, ao longo dos anos, do número de professores treinados para usar o PSSC e o número de alunos que o usaram nos EUA.



Em 1957-58, 8 escolas e 300 estudantes experimentaram os primeiros materiais do PSSC. Seus comentários e sugestões ajudaram a melhorar e ampliar o conteúdo e o projeto. Depois, em 1958-59, aproximadamente, 300 escolas e 12.500 estudantes valeram-se do curso; em 59-60, quase 600 escolas e 25.000 alunos participaram do terceiro ano de experiência do projeto.

A partir da análise desses resultados, o curso foi cuidadosamente revisto e implementado em mais escolas. Até 1964, alcançou-se a marca de 160.000 estudantes participantes do PSSC nos EUA. Não estão disponíveis estatísticas relativas ao número de estudantes que utilizaram o PSSC no Brasil.

No entanto, os resultados apresentados pela implantação do PSSC não foram animadores nos EUA, nem nos demais países em que foi aplicado. Não se observou uma melhora significativa no ensino de Física, muitos alunos continuaram desmotivados e desinteressados em estudar esta ciência, ou seja, na prática, as coisas não ocorreram exatamente como planejadas no projeto.

Mas, quais as razões para o fracasso de projetos tão sólidos como o do PSSC? Podemos citar a má compreensão do professor sobre seu papel durante o processo de ensino e aprendizagem na aplicação dos projetos. Ou talvez, o seu principal conceito, a participação ativa do aluno, o que pode ter resultado numa ênfase exagerada dada às experiências. O PSSC tratava muito bem dos conceitos físicos, mas não trazia suas implicações sociais e nem aplicações tecnológicas. O livro do aluno, em geral, não era muito atrativo, contendo textos longos com poucas, ou nenhuma relação com o cotidiano do aluno, e também com desenvolvimento matemático.

Era dada uma grande ênfase na estrutura da Física, o que tornou o material conceitualmente complexo e atrativo apenas para os alunos que já se interessavam pela Física.

No caso do PSSC no Brasil, a aplicação do projeto foi muito restrita, limitada a poucas escolas onde lecionavam alguns professores que dele tomaram conhecimento e sentiram-se capazes de aplicá-lo; alguns, embora o conhecessem não se animaram em aplicá-lo, principalmente pela dificuldade de utilização do material experimental entregue às escolas pela Funbec (Fundação Brasileira para o Desenvolvimento de Ensino de Ciências). Possuía muitos *kits* incompletos sem identificação adequada ou qualquer instrução auxiliar além do texto. O currículo proposto era desvinculado da nossa realidade educacional e a esmagadora maioria dos professores não estava preparada.

Dificuldades associadas à infra-estrutura precária das escolas brasileiras, à falta de laboratórios, ao difícil acesso e exibição dos filmes, à carga horária reduzida da disciplina podem, pelo menos, parcialmente, explicar a falta de êxito desta proposta em relação ao grande público do Ensino Médio brasileiro. Entretanto, apesar das inovações pedagógicas e tecnológicas, o aluno continuava a ser visto como um pequeno cientista.

Apesar do insucesso em sua aplicação no ensino secundário, fica evidente sua vertente inovadora e revolucionária pela quantidade de traduções que teve e pelo número de trabalhos acadêmicos que o analisaram.

No Brasil este projeto ficou principalmente restrito aos cursos de formação de professores, via disciplina de Instrumentação para o Ensino de Física. Um estudo da pesquisadora Ana Maria P. Carvalho mostrou que os professores tiveram forte influência do PSSC em seu trabalho, embora poucos o tenham adotado. Mesmo sem sua adoção, uma enquete revelou uma melhoria no ensino de Física, seja pelo fato de os professores escolherem com mais cuidado o livro-texto, seja por outras metodologias utilizadas em sala de aula, como o uso mais frequente de laboratório didático e a introdução de técnicas de discussão.

A influência mais duradoura do PSSC no Brasil, segundo a pesquisadora, foi a exercida sobre os docentes que se envolveram em pesquisas em ensino de Física quando da produção dos projetos brasileiros.

### LEI DE COULOMB

#### LEI DE COULOMB – COMO APRESENTADO NO RAMALHO

Cap1.8 – Forças entre Cargas Elétricas Puntiformes: Lei de *Coulomb*  
Considere duas cargas elétricas puntiformes  $Q_1$  e  $Q_2$  separadas pela

distância e situadas no vácuo. Entre elas ocorre atração (se tiverem sinais opostos) ou repulsão (mesmo sinal), com forças de mesma intensidade, mesma direção e sentidos opostos, de acordo com o Princípio de Ação e Reação.

Note que a forma de apresentação do Ramalho é como estivesse formulando um problema: Considere duas cargas elétricas puntiformes  $Q_1$  e  $Q_2$  separadas pela distância e situadas no vácuo (1º parágrafo). Há uma nota histórica em uma caixa de texto no final da seção que pode ser suprimida deste. A única vantagem que o texto é curto, simples e objetivo. Vejamos como o mesmo tema é abordado no PSSC

## MATERIAL APRESENTADO NO PSSC

Segue abaixo o texto com algumas ilustrações e material de apoio como originalmente apresentado no livro didático do PSSC.

### A LEI DE COULOMB E A CARGA ELEMENTAR

Pelo texto abaixo, vemos que o autor começa contando quem foi o autor da lei e como ele a obteve. Note que a apresentação do tema Lei de *Coulomb* se dá como se o autor estivesse realizando e descrevendo o experimento em um laboratório. Ele começa descrevendo a lei do inverso do quadrado da distância e fazendo uma analogia com a Lei da Gravitação Universal.

Você pode acessar todo o material no link <[http://www.cienciamao.usp.br/dados/pssc/\\_parteiv-eletricidadeest\\_2.arquivopdf.pdf](http://www.cienciamao.usp.br/dados/pssc/_parteiv-eletricidadeest_2.arquivopdf.pdf)>

## CAPITULO 28

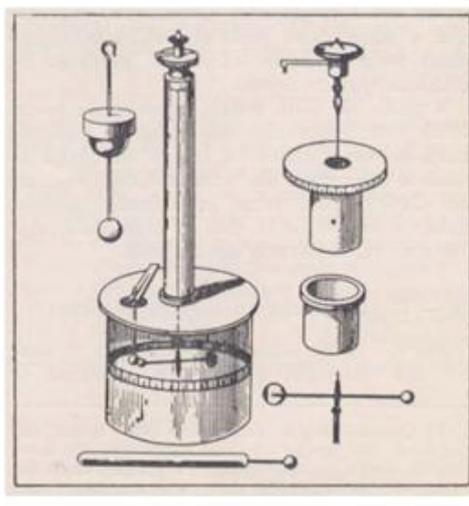
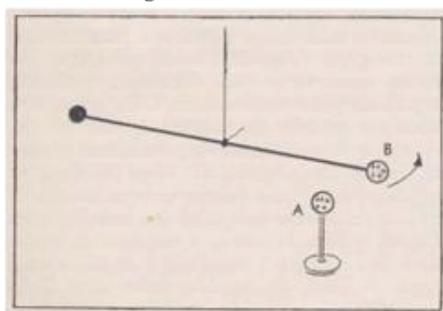
Até agora nosso estudo das forças elétricas foi apenas qualitativo. Vimos que as atrações e repulsões elétricas entre objetos grandes são devidas às atrações e repulsões entre as partículas sub-atômicas de que são feitos esses objetos. Nossa próxima tarefa será descrever experiências que nos forneçam informações quantitativas sobre essas forças.

### 28 - 1. Força e Distância.

A maneira pela qual a força de atração ou de repulsão entre cargas elétricas depende da distância que as separa foi estabelecida experimentalmente pelo físico francês, Charles Coulomb, em 1785. Em sua experiência, Coulomb utilizou uma balança de torção, semelhante ao instrumento usado mais tarde por Canendish para estudar a atração gravitacional. (Veja Seção 22-10). A Fig. 28-1 é um esquema desse tipo de aparelho. Quando a esfera carregada  $A$  é colocada no lugar, a força elétrica de repulsão que ela exerce

sobre a esfera carregada B faz girar a haste horizontal. Esta atinge uma nova posição de repouso com o fio de suspensão torcido. Quanto maior a torção do fio, maior deve ser a força entre as cargas. Assim, pelo ângulo de torção, Coulomb podia medir a força elétrica. Variando a distância entre as esferas carregadas, mediu a força como função da distância entre elas.

28-1 – Abaixo: esquema da balança de torção de Coulomb. À direita: desenho do aparelho de Coulomb, como apareceu no original de seu trabalho.



Disponível em: <[http://www.cienciamao.usp.br/dados/pssc/\\_parteiv-eletricidadeest\\_2.arquivopdf.pdf](http://www.cienciamao.usp.br/dados/pssc/_parteiv-eletricidadeest_2.arquivopdf.pdf)>

Como as cargas estão distribuídas sobre as esferas, a distância entre elas deve ser suficientemente grande para que pequenas diferenças em distância e direção não sejam importantes.

Utilizando esferas com cargas positivas e negativas, Coulomb mostrou que a força elétrica é sempre inversamente proporcional ao quadrado da distância entre as cargas. Estabeleceu este resultado com uma exatidão da ordem de três por cento. Mais tarde, testes indiretos – utilizando o efeito de blindagem dos condutores – demonstraram a lei com precisão muito maior. Cavendish conseguiu precisão de um por cento e, na segunda metade do século XIX, Markwell estabeleceu o expoente 2 (o “quadrado” na lei do inverso do quadrado), com erro inferior a uma parte em 40.000. Este número é conhecido, hoje em dia, com erro inferior a 1 parte em 109. Note que as forças elétricas e as gravitacionais variam com a distância exatamente da mesma forma. Não conhecemos nenhuma explicação para esta semelhança, mas por causa dela, podemos muitas vezes compreender da mesma maneira os efeitos elétricos e os gravitacionais.

Veja acima a importância que eles dão às medidas e confirmação experimental. Na sequência eles vão apresentar a dependência da força com as cargas do mesmo modo que fizeram com a distância e vão concluir deduzindo (obtendo) a Lei de *Coulomb*.

Acreditamos que a força de atração ou de repulsão entre dois objetos carregados é a soma vetorial de todas as forças que as partículas elétricas do

outro. Em todos os casos, verificamos experimentalmente que a força varia na razão inversa do quadrado da distância entre os objetos. Concluimos portanto que a força entre partículas elétricas individuais varia na razão inversa do quadrado da distância que as separa.

A partir de 1910, muitas experiências foram feitas com partículas sub-atômicas. Podemos lançá-las umas contra as outras ou contra os núcleos carregados dos átomos. Como veremos no Capítulo 32, essas experiências também mostram que a força elétrica entre partículas varia na razão inversa da distância.

## 28 – 2. Carga Elétrica e Força Elétrica.

Em um corpo eletricamente neutro, os efeitos das partículas positivas e negativas se cancelam. Um corpo dotado de carga positiva ou negativa contém cargas negativas não contrabalançadas. Assim, a carga elétrica de um corpo depende do excesso de partículas positivas ou negativas, medindo a partir do estado neutro.

A força entre dois corpos carregados depende da distância entre eles e cresce com o excesso de partículas positivas ou negativas em cada corpo. De que maneira, exatamente, depende a força do excesso de partículas elétricas? Para responder a esta questão precisamos saber reduzir o excesso de partículas à metade, a um terço, etc. Suponha que colocamos em contato uma esfera de metal carregada e uma esfera idêntica à primeira, mas descarregada (Fig. 28.2). As partículas elétricas mover-se-ão até ficarem igualmente repartidas pelas duas esferas. Cada esfera terá, então, a metade da carga original.

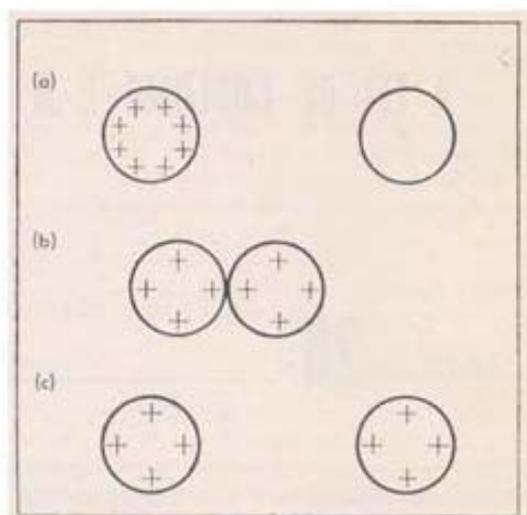
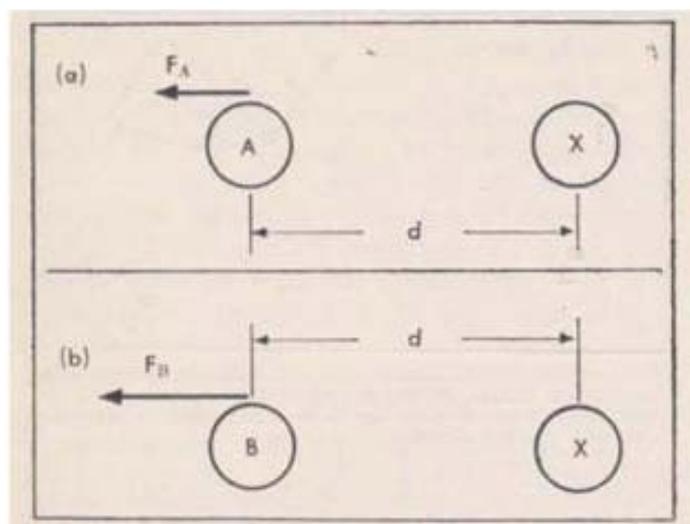


Figura 28-2 – O processo de repartir carga elétrica. Quando encostamos uma esfera carregada em outra, idêntica a ela, mas descarregada, as cargas elétricas que estão em excesso dividem-se igualmente. A distribuição final de cargas deve ser igual nas duas esferas, como se vê em (c).

PSSC, p. 32. Disponível em: <[http://www.cienciamao.usp.br/dados/pssc/\\_parteiv-eletricidadeest\\_2.arquivopdf.pdf](http://www.cienciamao.usp.br/dados/pssc/_parteiv-eletricidadeest_2.arquivopdf.pdf)>

O que ocorre com as forças elétricas quando as cargas são repartidas? Meça a força de repulsão entre duas esferas carregadas A e C, situadas a determinada distância uma da outra. Depois reduza à metade a carga de A, fazendo-a ceder carga a uma esfera B exatamente igual. A força de repulsão entre A e C (a mesma distância) fica também reduzida à metade. Obtemos ainda a mesma força quando A é substituída por B, a esfera com a qual a carga foi repartida. Aparentemente a carga e as forças são proporcionais, conforme poderíamos ter adivinhado.

Experiências desse tipo permitem comparar quantitativamente cargas elétricas. Duas cargas são iguais se sofrem a ação da mesma força quando colocadas a determinada distância de uma terceira carga. Uma carga é o dobro de outra quando fica sob a ação de uma força duas vezes maior. Além do mais, a força a que uma carga fica sujeita e a força que ela exerce sobre outra variam da mesma forma. Quando uma carga é reduzida à metade, a força que ela exerce sobre uma terceira carga fica também reduzida à metade. Em geral, comparam-se cargas comparando-se suas interações com uma terceira carga, a determinada distância. A razão dessas forças não depende da outra carga, nem da distância a que se deram as interações (Fig. 28-3).



28-3 – Para comparar duas cargas, A e B, colocamos uma de cada vez à mesma distância de uma outra carga X, e medimos as forças. A razão entre as cargas é a mesma que a razão entre as forças:

(PSSC, p. 33. Disponível em: < [http://www.ciencia-mao.usp.br/dados/pssc/\\_parteiv-eletricidadecest\\_2.arquivopdf.pdf](http://www.ciencia-mao.usp.br/dados/pssc/_parteiv-eletricidadecest_2.arquivopdf.pdf)>)

Na sua opinião, qual é a razão entre as forças que atuam sobre X?

Resumindo em linguagem algébrica o que já sabemos sobre cargas elétricas, podemos dizer que a força elétrica sobre uma carga  $q$  é proporcional à carga:  $F \propto q$ . Quando esta força é a interação entre a carga  $q$  e outro corpo pequeno com carga  $Q$ , a força é proporcional também a outra carga. Podemos indicar esta proporcionalidade pela expressão:  $F \propto qQ$ .

A carga elétrica tem agora para nós um significado definido e sabemos como exprimir a dependência entre a força elétrica e a carga. Podemos combinar estes dados com o resultado das experiências de Coulomb. Eles nos dizem que a força é inversamente proporcional ao quadrado da distância  $r$  entre as cargas. Chegamos, assim, à expressão completa para a força de interação entre duas cargas:

$$F = \frac{k Q q}{r^2}$$

na qual o fator de proporcionalidade  $k$  depende apenas das unidades adotadas para medir forças, distâncias e cargas. Chamaremos Lei de *Coulomb* a esta expressão e designaremos a força como força de *Coulomb*.

Quando, pela primeira vez, falamos em cargas elétricas, demos à palavra um sentido qualitativo. Uma carga elétrica era simplesmente o resultado da adição ou remoção de algumas partículas positivas ou negativas de um objeto neutro. Agora, porém, aprendemos a comparar cargas quantitativamente e podemos falar da carga das partículas individualmente. Diremos que duas partículas têm a mesma carga quando experimentam a mesma força sempre que colocadas à mesma distância de outra carga. Se as forças a que, ficam sujeitas as duas partículas são diferentes, diremos que suas cargas estão na mesma razão que essas forças. A “carga” de um objeto grande, pode ser considerada como o excesso de partículas elétricas de determinado sinal. Mas a carga de uma partícula elétrica só pode ser definida pela força que ela exerce.

Mas falta, ainda, uma coisa. Necessitamos de uma unidade padrão de carga, algo reprodutível, de modo que possamos comparar cargas em qualquer lugar, por mais distantes que sejam. Para essa finalidade muitas unidades arbitrárias têm sido usadas. Felizmente, contudo, como veremos na Seção 28-5, a própria natureza fornece uma unidade fundamental.

(A lei de *Coulomb* e as carga elétrica elementar. Disponível em <[http://www.cienciamao.usp.br/dados/pssc/\\_parteiv-eletricidadeest\\_2.arquivo-pdf.pdf](http://www.cienciamao.usp.br/dados/pssc/_parteiv-eletricidadeest_2.arquivo-pdf.pdf)>, p. 32 e 33)

Note que enquanto o Ramalho (consulte o livro impresso) gasta uma página e meia para expor a lei de *Coulomb*, o PSSC gasta mais de três. Ele complementa o texto com um experimento simples, ver abaixo, como é o espírito do projeto.

Experimento contido no guia de laboratório. Você pode acessá-lo no link <[http://www.cienciamao.usp.br/dados/pssc/\\_parteiv-eletricidadeest\\_9.arquivopdf.pdf](http://www.cienciamao.usp.br/dados/pssc/_parteiv-eletricidadeest_9.arquivopdf.pdf)>

## A FORÇA ENTRE DUAS ESFERAS CARREGADAS

A força entre corpos carregados eletricamente depende da distância entre eles e do valor de suas cargas. A natureza da dependência pode ser determinada quantitativamente por vários processos. Nesta experiência mediremos a força que age sobre um corpo carregado, equilibrando-a com uma força conhecida – a força da gravidade. Podemos suspender uma pequena esfera carregada por meio de um fio isolante, e aproximar dela outra esfera carregada. Considerando o desvio da esfera suspensa em relação à vertical, podemos medir a força elétrica sobre ela exercida, em função de seu peso. Suspensa uma esfera condutora, A, muito leve, na extremidade de um “V” e de fio de *nylon* muito fino, de forma que ela possa oscilar num único plano vertical (Fig. 2). Coloque uma fonte de luz de maneira a projetar a sombra da esfera numa escala milimetrada. Leia, na escala, a posição de um dos bordos da sombra da esfera suspensa. Carregue a esfera por indução, e aproxime dela outra esfera B, também carregada. Não segure diretamente a esfera B; espete nela um alfinete e espete o alfinete num pequeno bastão de parafina, que é um bom isolante, e mantenha o bastão em pé por meio de um prendedor de roupa, como indica a Fig. 2. Faça leituras das duas sombras na escala, para diversas posições, das esferas, à medida que você vai trazendo B para perto de A, ao longo de uma linha que está no plano de oscilação de A. Certifique-se de que usa o mesmo bordo de cada esfera, todas as vezes em que lê sua posição (P1 e P2 na Fig. 2).

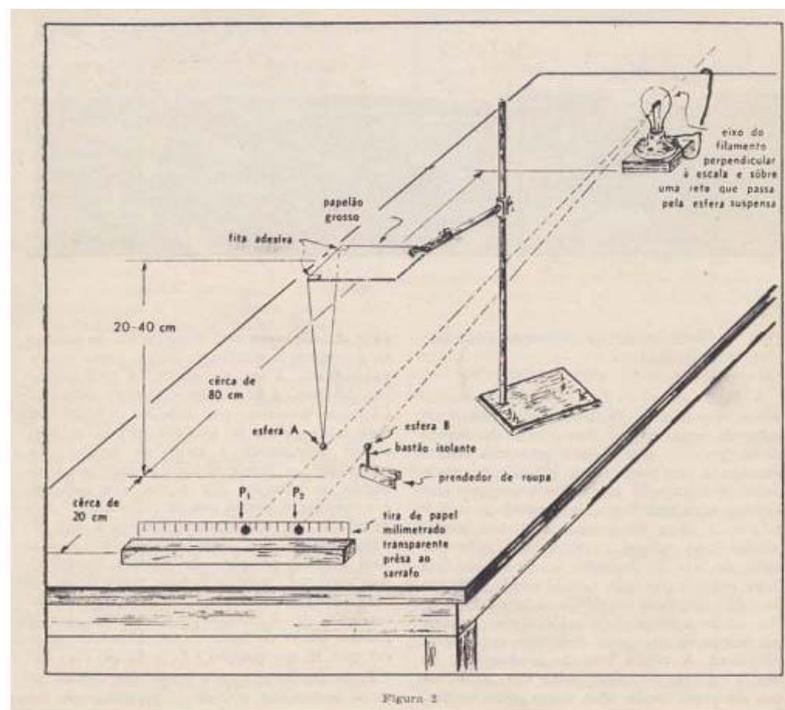


Figura 2

Disponível em [http://www.cienciamao.usp.br/dados/pssc/\\_partiv-eletricidadeest\\_9.arquivopdf.pdf](http://www.cienciamao.usp.br/dados/pssc/_partiv-eletricidadeest_9.arquivopdf.pdf) pág. 232

Pode acontecer que a carga das esferas se escoe lentamente através da superfície do fio e do suporte isolante, introduzindo-se assim, um erro na experiência. Como pode você testar essa perda? Em que momento faria você o teste? Enquanto faz as medidas ou no fim?

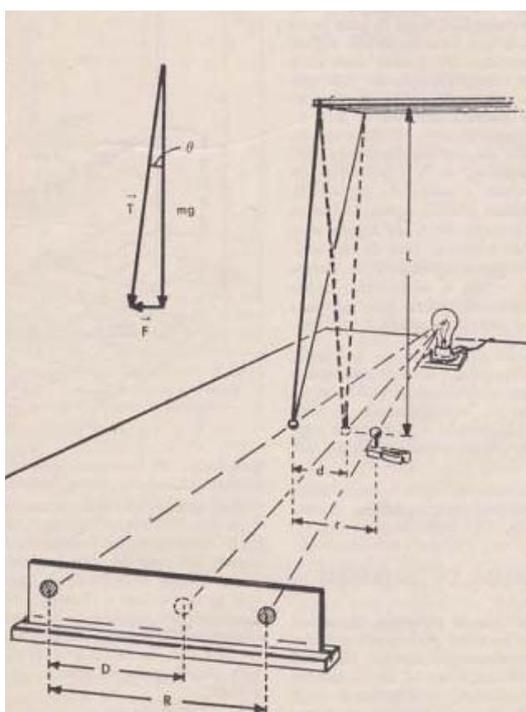
Quando a esfera suspensa está em equilíbrio, a força resultante que nela atua é nula; isto é, o vetor soma da tensão  $T$  no fio e do peso da esfera,  $mg$  é igual e oposto à força elétrica  $F$ . Considerando a Fig. 3, pode-se ver que, para pequenos ângulos, a relação entre o módulo da força elétrica e o módulo

do peso,  $\frac{F}{mg}$ , é igual a  $\frac{d}{L}$ , que representa a relação entre o deslocamento horizontal da esfera suspensa e o comprimento da suspensão. Portanto:

$$F = \frac{mg}{L} \times d = (\text{constante}) \times d.$$

Como não estamos interessados em considerar unidades especiais de força, podemos medi-la em termos de  $d$ . Além disso, o deslocamento horizontal,  $d$ , da esfera é proporcional ao deslocamento horizontal  $D$  de sua sombra na escala. Analogamente, a distância  $r$  entre as duas esferas é proporcional à distância  $R$  entre suas sombras. Podemos, portanto, estudar a relação de dependência entre  $F$  e  $r$ , representado graficamente  $D$  em função de  $R$ .

Faça um gráfico da força em função da distância entre as duas esferas (observe que a distância entre as duas sombras é proporcional à distância entre as duas esferas). Como se relaciona a força, quando a distância é  $r$ , com a força, quando a distância vale  $\frac{1}{2} r$ ,  $\frac{2}{3} r$ ? Que tipo de dependência isto sugere? Faça um gráfico para testá-lo.



Disponível em <[http://www.cienciamao.usp.br/dados/pssc/\\_parteiv-eletricidadeest\\_9.arquivo-pdf.pdf](http://www.cienciamao.usp.br/dados/pssc/_parteiv-eletricidadeest_9.arquivo-pdf.pdf)>

(PSSC. Guia de laboratório. p. 231 a 233)



1. Discuta se você adotaria o material do GREF abaixo em vez do Ramalho ou do PSSC.

### A Lei de *Coulomb*

O campo elétrico de uma carga está associado a sua “capacidade” de poder criar forças elétricas sobre outras cargas elétricas. Essa capacidade está presente em torno de uma carga, independente de existirem ou não outras cargas em torno dela capazes de “sentir” esse campo.

O campo elétrico  $E$  em um ponto  $P$ , criado por uma carga  $Q$  puntiforme em repouso, tem as seguintes características:

- a direção é dada pela reta que une o ponto  $P$  e a carga  $Q$ .
- o sentido de  $E$  aponta para  $P$  se  $Q$  é positiva; e no sentido oposto se  $Q$  é negativa.
- o módulo de  $E$  é dado pela expressão:

$$E = K \cdot \frac{Q}{d^2}$$

onde  $K$  é uma constante que no SI e vale:  $9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$ .

A intensidade da força elétrica entre duas cargas  $Q$  e  $q$  é dada pela expressão que representa a Lei de *Coulomb*:

$$F = K \cdot \frac{Q \cdot q}{d^2}$$

onde  $d$  é a distância entre as cargas.

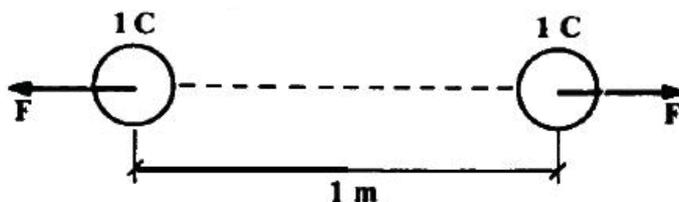
Quando uma carga elétrica  $Q$  está imersa num campo elétrico  $E$ , e o valor da força elétrica que age sobre ela é dada por:

No sistema internacional de unidades, a força é medida em *Newton* (N), a carga elétrica em *Coulomb* (C) e o campo elétrico em *Newton/Coulomb* (N/C). exercitando...

a) Representar as forças elétricas em cada situação:

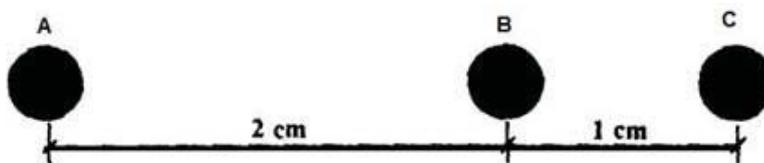


2. Determine a intensidade da força de repulsão entre duas cargas iguais a 1C, que se encontram no vácuo, distanciadas em 1m.



(Gref – Eletromagnetismo para ler, fazer e pensar – versão preliminar 20-29, p. 108. Disponível em: <<http://www.if.usp.br/gref/eletro/eletro4.pdf>>.

3. Três corpos com cargas elétricas iguais são colocadas como indica a figura abaixo. A intensidade da força elétrica que A exerce em B é de  $F = 3,0 \cdot 10^{-6} \text{N}$ :



(Gref – Eletromagnetismo para ler, fazer e pensar – versão preliminar 20-29, p. 108. Disponível em: <<http://www.if.usp.br/gref/eletro/eletro4.pdf>>.

Determinar a intensidade da força elétrica:

- a) Que C exerce em B
- b) Resultante no corpo B

4. Podemos eletrizar um objeto neutro através do atrito com outro objeto neutro, ou através de um objeto carregado. É possível eletrizarmos um objeto sem atrito ou contato? Como?

5. Analise o texto a seguir e diga se é verdadeiro ou falso:

“O fato de uma carga poder exercer força sobre a outra através do campo está de acordo com o princípio de ação e reação (3ª lei de Newton). Segundo este princípio, podemos considerar as forças  $F$  e  $F'$  como par de ação e reação que tem, portanto, o mesmo módulo, porém sentidos opostos, além de estarem aplicados a corpos diferentes..”

(Gref – Eletromagnetismo para ler, fazer e pensar – versão preliminar 20-29, p. 108. Disponível em: <<http://www.if.usp.br/gref/eletro/eletro4.pdf>>.

Na seção 4 desta aula apresentamos os resultados do insucesso do PSSC. Analise respondendo as atividades abaixo.



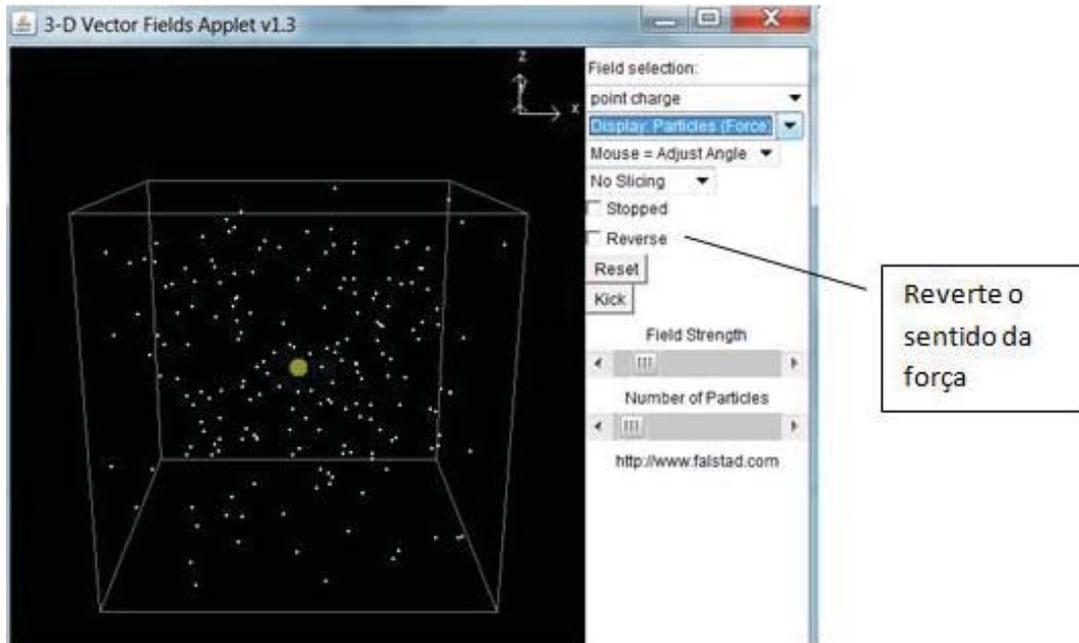
1. Os textos são realmente longos?
2. Excesso de experimentos atrapalha e não exemplifica o conceito?
3. A falta de conexão com o cotidiano do aluno é realmente desmotivante?
4. Você acha que o texto do PSSC é útil para complementar os seus conhecimentos antes de ministrar uma aula?
5. Qual dos dois textos (um livro texto tradicional do tipo Ramalho ou o projeto PSSC), você usaria como referência para ministrar uma aula sobre campo elétrico? Por quê?
6. Você acha que os físicos formados na década de 70 e 80 e que escreveram os nossos livros didáticos foram influenciados por estes projetos de ensino de física?
7. Você acha que os alunos não conseguem ver filmes documentários muito longos?
8. Compare o filme produzido para a série o Universo Mecânico com os de curta duração produzidos para o *Youtube* como os sugeridos disponíveis nos links <<http://youtu.be/TRO0XzLWGvA>>; <<http://youtu.be/MURbr0sD8uc>>.

### APPLETS DE ENSINO

Sugerimos alguns *sites* como material de multimídia para você analisar. Segue abaixo um guia de *applets* de ensino com dicas para vocês analisarem.

1. Explore esse excelente *applet* do Professor Falstad disponível no *link*: <<http://www.falstad.com/emstatic/>>.

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

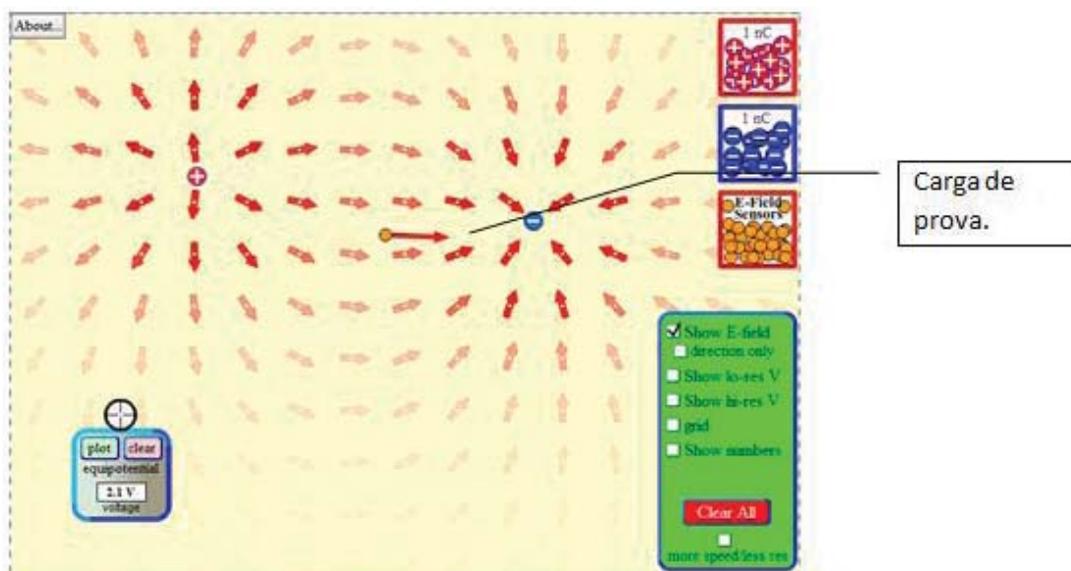


Disponível em <<http://www.falstad.com/emstatic/>>

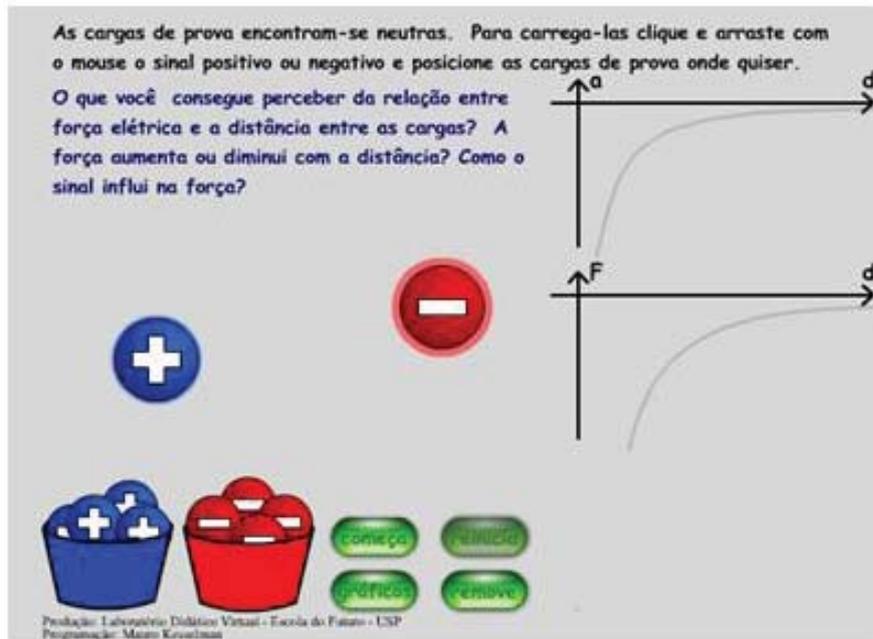
2. Explique o princípio de funcionamento do *applet* do curso da Universidade do Colorado. Acesse através do *link*: <<https://sites.google.com/site/professorpifer/Home/fisica-mix/eletromagnetismo>>.

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 força elétrica. Arraste-o. Não se esqueça de ativar o campo “*Show E-field*”.

Você pode brincar de determinar o módulo e a direção da força elétrica sobre a carga de prova.



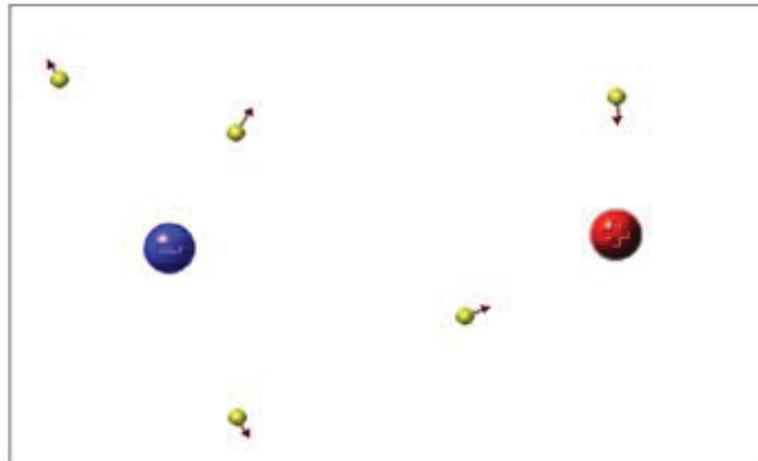
Disponível em <<https://sites.google.com/site/professorpifer/Home/fisica-mix/eletromagnetismo>>



Disponível em <[http://www.labvirt.fe.usp.br/simulacoes/fisica/sim\\_eletromag\\_forcaeletrica.htm](http://www.labvirt.fe.usp.br/simulacoes/fisica/sim_eletromag_forcaeletrica.htm)>

4. Explore esse excelente *applet* da Universidade do Colorado, acessando o link: <[http://www.labvirt.fe.usp.br/simulacoes/fisica/sim\\_eletromag\\_forcaeletrica.htm](http://www.labvirt.fe.usp.br/simulacoes/fisica/sim_eletromag_forcaeletrica.htm)>.

### Charges and Fields



Disponível em <[http://www.labvirt.fe.usp.br/simulacoes/fisica/sim\\_eletromag\\_forcaeletrica.htm](http://www.labvirt.fe.usp.br/simulacoes/fisica/sim_eletromag_forcaeletrica.htm)>

Adicionar terminais e “cargas teste” e arrastar as coisas ao redor para ver como a mudança nas forças. Dê um duplo clique em qualquer objeto ou sobre o fundo para o menu de opções.

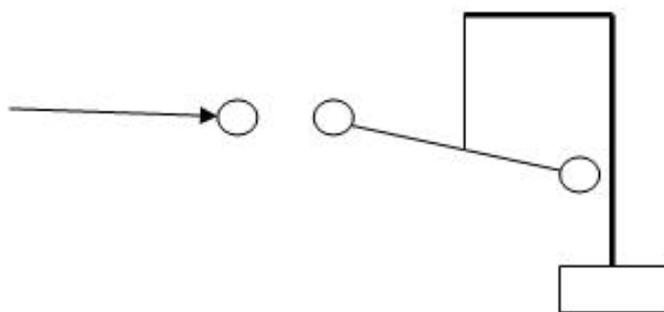
Clique e arraste para mover terminais ou cargas.

**VIDEOS AULAS**

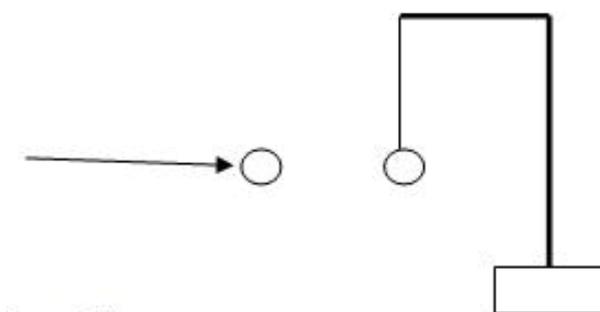
- 1 – Acesse o vídeo com história da eletricidade, através do link: <<http://www.youtube.com/watch?v=MURbr0sD8uc>>.
- 2 – Vídeo aula muito boa. Acesse através do link: <<http://www.youtube.com/watch?v=TRO0XzLWGVa&feature=related>>.

**EXPERIMENTOS DE BAIXO CUSTO**

1. Tente você mesmo fazer uma balança de torção. Pegue dois canudinho de plástico; três bolinhas de isopor; papel alumínio e bole um aparato para sustentar sua estrutura. Como você faria para carregar as bolinhas de isopor forradas de papel alumínio?



2. Faça um experimento mais simples. Pense nos detalhes.



### CONCLUSÃO

Através da leitura do capítulo 28 do livro texto do projeto PSSC, entramos em contato com o material pedagógico e sua filosofia pedagógica. Observamos como se comprovou na história, que textos e filmes longos não são adequados para alunos do Ensino Médio. Por outro lado, vimos também que um texto muito curto e baseado na definição de leis e equações, sem uma contextualização histórica e de como a Física se relaciona com o cotidiano, também se torna uma disciplina enfadonha e sem sentido para o aluno. Assim ficou a pergunta: como tornar o curso de Física mais atraente e motivante?

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 ideias de como este pode enriquecer uma aula sobre o tema Lei de *Coulomb*.

### COMENTÁRIOS SOBRE AS ATIVIDADES

Em geral os alunos que fazem o curso de licenciatura em Física têm um curso muito superficial ou não têm nenhuma aula de Física. Se têm, usam algum livro texto tradicional, onde a Física é apresentada como uma coleção de definições e fórmulas para serem aplicadas em problemas e exercícios. Assim, a maioria deles só possui o conhecimento de Física dado na universidade. A apresentação do projeto PSSC deve ter dado uma visão geral de toda a complexidade de se montar um curso de Física e como esse pode se tornar mais atraente.

Os futuros professores devem ter compreendido o papel central que eles têm na escolha do conteúdo, da técnica e da didática ser utilizada em sala de aula. Este deve ter adquirido uma ideia de como se deve preparar um curso ou apenas uma aula. Eles devem compreender que uma aula é um processo dinâmico e orgânico.



### RESUMO

Apresentamos um resumo da história do projeto PSSC e através da análise do capítulo 28, Força Elétrica, começamos a analisar a influência que estes projetos de ensino tiveram sobre a construção do livro didático. Através da leitura deste texto, fizemos uma comparação com um texto padrão de um livro didático, no caso o livro do Ramalho e levantamos a questão sobre o uso de textos longos como recurso didático para a disciplina de Física.

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. Colocamos vários e excelentes *applets* de ensino como recurso de simulação de fenômeno físico para ser explorado pelo futuro professor. Colocamos, também, ótimos experimentos de baixo custo que podem ser usados facilmente em sala de aula.

Como há ótimos vídeos de ensino colocamos alguns deles como referência e deixamos sua exploração como atividade para os estudantes, uma vez que no curso de Instrumentação I não usamos os vídeos didáticos como ferramenta didática principal.

## RESPOSTA DAS ATIVIDADES

- 1 – Sim
- 2 – Depende. Na maioria dos casos não.
- 3 – certamente
- 4 - Espero que ele responda que sim
- 5 - Resposta pessoal
- 6 - Sim
- 7 - A grande maioria não
- 8 - São muito melhores, mas são longos

## REFERENCIAS

ALVES FILHO, J.P; **Atividades experimentais do método a prática construtiva**; Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação da UFSC; 2000.

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

CARVALHO, A. M. P.; **A pesquisa no ensino, sobre o ensino e sobre a reflexão dos professores sobre seus ensin**os; Revista Educação e Pesquisa, v. 28, n. 2; 2002.

DISCOVERING THE PSSC: **A Personal Memoir**, by A. P. French. Disponível em <<http://www.compadre.org/portal/pssc/docs/French.pdf>>.

GASPAR, A.; Cinquenta anos de Ensino de Física: Muitos equívocos, alguns acertos e a necessidade do resgate do papel do professor; artigo apresentado no XV Encontro de Físicos do Norte e Nordeste; 2002.

GRAF – Grupo de Reelaboração do Ensino de Física, Instituto de Física da USP - **Leituras de física – Graf – Eletromagnetismo para ler, fazer e pensar** – versão preliminar 20-29, p. 108. Disponível em: <<http://www.if.usp.br/graf/eletro/eletro1.pdf>>. Acesso em 15/10/2011.

LAB VIRT. **Laboratório Didático Virtual** – Escola do Futuro – USP. Disponível em: <[http://www.labvirt.fe.usp.br/simulacoes/fisica/sim\\_eletromag\\_forcaeletrica.htm](http://www.labvirt.fe.usp.br/simulacoes/fisica/sim_eletromag_forcaeletrica.htm)>. Acesso em 15/10/2011.

MOREIRA, A. M; **Ensino de Física no Brasil: Retrospectiva e Perspectivas**, apresentação feita na mesa redonda “Retrospectiva de Ensino e Pesquisa”; Universidade de Brasília, 1999.

PERINI, L. ; FERREIRA, G. K.; CLEMENTE, L.; Projeto de Ensino PSSC: uma análise dos exercícios/problemas; resumo apresentado no XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física; SNEF; Vitória, ES; 2009. PSSC, Física - Parte I, Parte II, Parte III, Parte IV, Editora Universidade de Brasília, tradução autorizada com direitos reservados para o Brasil pelo IBECC-UNESCO.

PSSC, Guia do Professor de Física– Parte I, Parte II, Parte III, Parte IV, EDART, SP, traduzido e adaptado pela Fundação Brasileira para o Desenvolvimento do Ensino de Ciências e pelo Centro de Treinamento de Professores de Ciências de São Paulo(CECISP).

PSSC PHYSICS: A Personal Perspective, by Uri Haber-Schaim. Disponível em <<http://www.compadre.org/portal/pssc/docs/Haber-Schaim.pdf>>

PSSC in Historical Context: Science, National Security, and American Culture during the Cold War, by John L. Rudolph”. Disponível em <<http://www.compadre.org/portal/pssc/docs/Rudolph.pdf>>

YOUTUBE. Força Elétrica. Disponível em: <<http://youtu.be/TRO0X-zLWGvA>>. Acesso em 15/10/2011.

\_\_\_\_\_. Força Elétrica – Lei de Coulomb. Disponível em: <<http://youtu.be/MURbr0sD8uc>>. Acesso em 15/10/2011.