

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE FÍSICA
CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA

LUIZ ALBERTO FEIJÓ JUNIOR

**A HISTÓRIA DO DESENVOLVIMENTO DAS MÁQUINAS ELETROSTÁTICAS
COMO ESTRATÉGIA PARA O ENSINO DE CONCEITOS DE ELETROSTÁTICA**

Porto Alegre
2008

LUIZ ALBERTO FEIJÓ JUNIOR

**A HISTÓRIA DO DESENVOLVIMENTO DAS MÁQUINAS ELETROSTÁTICAS
COMO ESTRATÉGIA PARA O ENSINO DE CONCEITOS DE ELETROSTÁTICA**

Monografia apresentada à Faculdade de Física da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciado em Física.

Orientador: João Bernardes da Rocha Filho

Porto Alegre

2008

Agradeço ao professor e orientador João Bernardes da Rocha Filho, pelo apoio e encorajamento contínuos na pesquisa, à minha esposa Lúcia e filha Helena, pela compreensão e carinho para aceitar as muitas horas que passamos afastados, e ao meu Físico predileto, Rodrigo, pela inspiração em enfrentar este desafio, pela razão acima de tudo e pela parceria sem preço.

"Não basta ensinar ao homem uma especialidade, porque se tornará assim uma máquina utilizável e não uma personalidade. É necessário que adquira um sentimento, senso prático daquilo que vale a pena ser empreendido, daquilo que é belo, do que é moralmente correto."

Albert Einstein

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo investigar em que medida a abordagem da história do desenvolvimento e o estudo teórico do funcionamento das máquinas eletrostáticas constituem estratégias efetivas para motivar os alunos do ensino médio a aprenderem conceitos ligados à eletrostática, estabelecendo o embasamento necessário para promover questionamentos úteis para o aprendizado de Física. Também procurou avaliar o quanto a observação e percepção dos fenômenos conseqüentes da experimentação com altas tensões podem motivar os alunos no sentido de aumentar sua curiosidade e interesse em aprender Física.

ABSTRACT

This work aimed to investigate to what extent the approach of the history of development and theoretical study of the electrostatic machines are effective strategies to motivate high school students to learn concepts related to electrostatic, setting the necessary background to promote useful questioning for Physics learning. It also attempt to assess how the observation and understanding of the phenomena consequent of experimentation with high voltages can motivate students increasing their curiosity and interest in learning Physics.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Otto Von Guericke	14
Figura 2 Ilustração da “bola de enxofre” de Otto Von Guericke.	14
Figura 3 Trecho de Philosophical Transactions of the Royal Society # 37	15
Figura 4 Ilustração do experimento feito por Joseph Gray	17
Figura 5 Trecho de "A Discourse concerning Electricity"	18
Figura 6 Máquina de Nairne.....	21
Figura 7 Máquina de Ramsden, estilo Frances.....	22
Figura 8 Garrafa de Leyden sendo carregada em uma máquina eletrostática de Ramsden.....	23
Figura 9 O eletróforo de Volta	24
Figura 10 O dobrador de Bennet.....	24
Figura 11 O Dobrado de Nicholson	25
Figura 12 Ilustração de um multiplicador de Cavallo	25
Figura 13 Máquina de Wilson.....	26
Figura 14 Máquina de Holtz do primeiro tipo.....	26
Figura 15 Máquina de Toepler com dois discos rotativos.	27
Figura 16 A máquina de Wimshurst	28
Figura 17 O próprio Robert Van de Graaff demonstra seu invento	29

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 OBJETIVOS.....	10
2.1 OBJETIVO GERAL	10
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS E COMPLEMENTARES:.....	10
3 METODOLOGIA	12
4 A HISTÓRIA DO CONHECIMENTO SOBRE A ELETROSTÁTICA.....	13
5 FUNCIONAMENTO DAS MÁQUINAS ELETROSTÁTICAS	21
5.1. MÁQUINAS DE ATRITO	21
5.2 MÁQUINAS DE INDUÇÃO ELETROSTÁTICA	23
6 A EDUCAÇÃO E AS ATIVIDADES EXPERIMENTAIS NO ENSINO DE FÍSICA .	30
7 PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO DAS ATIVIDADES EM AULA.....	33
7.1 PREPARAÇÃO DAS ATIVIDADES.....	33
8 ATIVIDADES REALIZADAS.....	35
9 MATERIAIS EMPREGADOS NAS ATIVIDADES EM AULA	36
10 PROCEDIMENTOS E AÇÕES EM AULA	37
11 INSTRUMENTOS DE PESQUISA	39
12 COLETA DE DADOS.....	40
13 RESULTADOS OBTIDOS	41
14 CONCLUSÕES	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
APÊNDICE A - ROTEIRO DA ENTREVISTA COM O PROFESSOR	50
APÊNDICE B – LINHA DE TEMPO COM AS PRINCIPAIS DESCOBERTAS SOBRE A ELETRICIDADE E ELETROMAGNETISMO	52
APÊNDICE C – GUIA PARA A ATIVIDADE EXPERIMENTAL	53

1 INTRODUÇÃO

Um diagnóstico aparentemente correto, que explica e justifica muitas das dificuldades encontradas nas atividades de ensino, tem sido amplamente discutido e divulgado: os assuntos abordados em sala de aula na escola contemporânea dificilmente se relacionam de maneira explícita com a experiência cotidiana dos alunos, sendo vistos pelos mesmos como temas abstratos, sem aplicação na vida real. Talvez por não apresentarem esta conexão entre o objeto de estudo e o concreto, do dia-a-dia, muitos alunos se mostram desinteressados, e como consequência apresentam baixo desempenho em áreas como as ciências, e entre elas a Física.

Adotando práticas de ensino convencionais, com aulas somente expositivas de conteúdos tradicionais e processos de avaliação baseados quase exclusivamente em testes de memorização e capacidade de reprodução de seqüências de cálculo, o professor supostamente incorre em dois equívocos dignos de nota: O primeiro deles consiste em não levar em consideração o contexto, sob o ponto de vista tecnológico, a que são submetidos de forma permanente os jovens, considerando a disseminação de produtos de baixo custo e alta complexidade na sociedade moderna. O segundo, e talvez o mais grave deles, consiste em ensinar sem o compromisso de encantar, tarefa reconhecidamente difícil, mas que pressupostamente criaria condições para o desenvolvimento da motivação e do interesse pelo aprofundamento do conhecimento.

Outro aspecto que merece atenção é o fato de que a informação muitas vezes é comunicada de tal forma que uma conexão racional entre o objeto de estudo e seus efeitos, bem como sua ordem de magnitude, são simplesmente negligenciados, resumindo-se o conteúdo apresentado a cálculos e obtenção de números.

Trata-se a Física de forma tão somente dedutiva, com ênfase exagerada a alguns conteúdos, tais como os movimentos, levando o aluno a crer que se trata de uma ciência acabada, na qual tudo o que deveria ser entendido e descoberto já foi analisado, entendido e explicado. Ao invés de se buscar dar ao aluno uma noção real de ordem de magnitude de fenômenos, por exemplo, apresentam-se equações e fórmulas que ao final da aula deixam de ter qualquer significado na vida do estudante.

A própria visão de ciência é incorreta: ao invés de ser vista como algo construído em passos, na maior parte das vezes dados por vários pesquisadores, induz-se o aluno a acreditar no modelo no qual o papel do cientista, é explicar fenômenos e fazer descobertas trabalhando isolado do contexto em que vive e de maneira independente, sem a participação de outros no processo de evolução das idéias e construção de novos conhecimentos (CHALMERS, 1993).

Este trabalho avaliou os efeitos de uma proposta que enfoca as vantagens de atividades de cunho prático, e que ao mesmo tempo resgatou a história do desenvolvimento científico, neste caso ligado ao conhecimento sobre a eletrostática. Procurou-se examinar a validade do estudo de dispositivos rudimentares como alternativas para despertar a curiosidade do aluno no sentido de continuar aprendendo Física, entender o processo de desenvolvimento científico, e formar conceitos sobre eletrostática. Para avaliar tal proposta foram concebidas e apresentadas em aula uma série de atividades que envolveram o estudo histórico do desenvolvimento das máquinas eletrostáticas e teorias sobre eletrostática.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Investigar o quão efetiva no ensino de Física é a metodologia que envolve a apresentação da história do desenvolvimento do conhecimento sobre a eletrostática, assim como sua aplicação no desenvolvimento de máquinas eletrostáticas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS E COMPLEMENTARES:

1. Promover uma reflexão sobre dificuldades no entendimento de conceitos físicos em sala de aula, discutindo-a com um professor com comprovada experiência no ensino de física;
2. Apresentar aos alunos como ocorre o processo de desenvolvimento das teorias científicas, através de exemplos relacionados à história da eletrostática;
3. Propor atividades experimentais com eletrostática como forma de trabalhar conceitos relativos a este tema em sala de aula, usando dispositivos de construção caseira;
4. Pesquisar a história do desenvolvimento dos conhecimentos sobre eletricidade estática, e em especial das máquinas eletrostáticas.

Aliadas a este conjunto de objetivos específicos executou-se um conjunto de tarefas complementares, que consistiram em:

1. Testar se o estudo sobre eletrostática e máquinas eletrostáticas desperta a curiosidade dos alunos e ajuda-os a reconhecer a Física como um empreendimento humano de grande importância;
2. Avaliar, baseado em entrevista com o professor titular de Física da turma submetida a esta pesquisa, se a apresentação de temas ligados à história da ciência e seu desenvolvimento, motiva os seus alunos a interessarem-se mais pelas aulas de Física;

3. Verificar se o ensino de temas ligados à história da Física e de seus protagonistas podem contribuir para transmitir aos alunos uma visão mais correta dessa ciência e da natureza do trabalho científico, superando a visão linear do desenvolvimento científico, hoje presente nos livros didáticos e nas aulas de Física.

3 METODOLOGIA

A metodologia de pesquisa aplicada ao presente trabalho consistiu na execução de uma investigação bibliográfica, incluindo literatura com data de publicação que remonta à época do desenvolvimento das idéias acerca da eletrostática e dos dispositivos estudados (máquinas eletrostáticas). Desta forma buscou-se determinar a seqüência com que os mesmos foram aperfeiçoados, evidenciando desta maneira a evolução do conhecimento e a participação de inúmeras pessoas no processo.

No processo de pesquisa procurou-se obter informações diretamente nos livros originais, que foram escritos na época dos eventos apresentados. Isto permitiu reconstituir de forma fidedigna a linha de tempo com a seqüência de eventos que levou a humanidade a desenvolver o conhecimento sobre a eletricidade ao ponto aonde hoje ele se encontra.

Esta evolução de conceitos e conhecimento foi apresentada em aula, bem como foram realizadas demonstrações de alguns dos dispositivos pesquisados, como forma de possibilitar ao aluno um contato real com o objeto do estudo.

Tomando em consideração o fato de que “a prática está a serviço da aquisição dos conhecimentos conceituais quando se trata de verificar uma teoria, e que a teoria está a serviço da prática quando se permite ao aluno comparar modelos” (SÉRÉ, 2003) preparou-se um conjunto de atividades experimentais e procedeu-se a sua execução na escola.

Por meio de entrevistas com o professor titular da turma que participou desta atividade avaliou-se a evolução do interesse dos alunos pelos temas propostos, sua motivação com o aprendizado da disciplina de Física bem como sua participação efetiva nas atividades propostas.

Um relatório com os resultados desta avaliação, bem como as impressões obtidas durante o desenrolar das atividades em aula, foi elaborado e faz parte do presente documento.

4 A HISTÓRIA DO CONHECIMENTO SOBRE A ELETROSTÁTICA

Há milênios o homem observa os raios e trovões nos dias de tempestade. Mas começaremos a nossa história sobre eletricidade estática há cerca de dois mil e seiscentos anos, perto da costa ocidental do lugar que hoje conhecemos como Turquia. Havia ali uma cidade chamada Mileto, antiga colônia grega onde nasceu e viveu um homem curioso e culto, conhecido como Thales de Mileto, e que tinha curiosidade sobre um material em particular - uma resina oriunda das árvores nativas, conhecido como âmbar (WATSON, 1945).

O âmbar é uma substância que apresenta odor agradável, que se acentua quando ele é friccionado com os dedos. Thales provavelmente friccionou o âmbar e observou que depois disso, a peça atritada atraía pequenos e leves objetos, como pequenos pedaços de linha. Constatou existir, portanto, uma estranha e inexplicável força de atração oriunda do processo de fricção do âmbar.

Sem uma explicação para tal fenômeno, ele registrou o que havia observado. Por não encontrar-se nenhuma aplicação prática para o fenômeno, o mesmo permaneceu como uma simples curiosidade até por volta do século XVI D.C.

Por volta de 1570 um inglês, de nome William Gilbert, interessou-se pelo âmbar e suas peculiares propriedades. Testando outros materiais, tais como pedras preciosas e vidro, constatou que outras substâncias também apresentavam tal propriedade de atrair objetos leves (CAVALHEIRO, 1942). O âmbar é denominado “elektron” em Grego, e “electrum”, em Latim, e devido a isto, todas as substâncias que tinham capacidade de atrair objetos, depois de friccionadas, passaram a ser chamadas por Gilbert de elétricas, com a intenção de evidenciar que apresentavam mesma propriedade do âmbar.

Por volta de 1650 um inglês, de nome Walter Charleton, chamou de “eletricidade” à propriedade de atração, usando esta palavra pela primeira vez com este sentido (CAVALHEIRO, 1942).



Figura 1 Otto Von Guericke nasceu em 1602 na cidade de Magdeburgo e morreu em 1686 em Hamburgo. Físico alemão que se notabilizou pelo estudo do vácuo e da eletrostática.

Fonte: Disponível em <http://www.uni-magdeburg.de/org/ovgg/deutsch/English/welcome.html>

Foi o cientista alemão, Otto Von Guericke, que ante a necessidade de acumular mais eletricidade para seus experimentos usou, em 1672, uma substância amarela chamada enxofre, que aparentava apresentar os mesmos efeitos do âmbar quando atritado (Delaunay, 1809). Guericke construiu uma esfera de enxofre com uma manivela em um dos lados e colocou-a em suporte de madeira de tal forma que podia girá-la usando esta manivela. Usando a outra mão sobre a bola de enxofre enquanto ela era girada, pela fricção, obteve maiores quantidades de eletricidade (GUERICKE, 1672). Estava inventada a primeira máquina eletrostática de que se tem notícia.

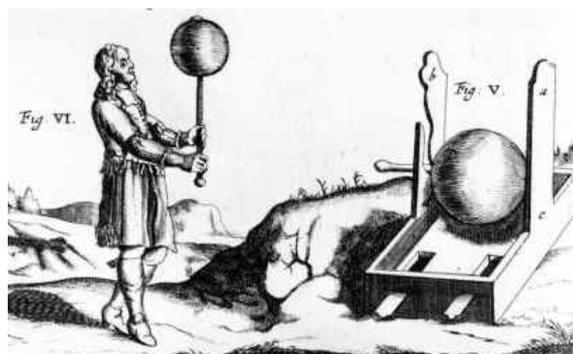


Figura 2 Ilustração da "bola de enxofre" de Otto Von Guericke.

Fonte: GUERICKE, 1672, p.241.

A esfera de enxofre, quando carregada, emitia fagulhas luminosas em direção a objetos colocados a seu redor, visíveis mesmo à luz do dia (GUERICKE, 1672).

Segundo Delaynay (DELAYNAY, 1809), em 1730 os cientistas Stephen Gray, na Inglaterra, e Charles Du Fay na França, realizaram experiências friccionando tubos de vidro, com mais ou menos um metro de comprimento e observando que

eles atraíam também pequenos objetos, o que levou-os a concluir que de alguma forma a eletricidade havia penetrado neles (WATSON, 1748).

Observando que após algum tempo a capacidade de atrair objetos se desfazia, e imaginando que isto se devia ao fato do fluido elétrico se esvaír, Gray fechou as extremidades do tubo de vidro com rolhas de cortiça, observando então que os pequenos objetos, uma vez que o tubo fosse carregado, eram atraídos por estas rolhas também. Ele havia friccionado apenas o vidro, e não as rolhas, e concluiu que, ao colocar eletricidade no tubo, ela de alguma forma penetrara também nas rolhas de cortiça.

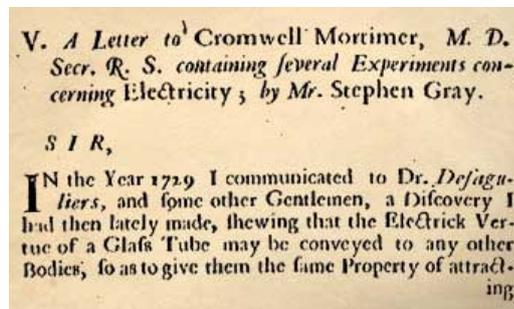


Figura 3 Trecho de Philosophical Transactions of the Royal Society # 37, 1731 – 1732.
Fonte: GRAY, 1732, p. 286.

De acordo com Gray,

Água e ar podem ser postos a viajar através de tubos ocios. É o que chamamos de 'corrente'. Líquidos e gases podem correr: o rio é uma corrente de água e o vento é uma corrente de ar, e desta forma posso afirmar que a eletricidade também assim se comporta (GRAY, 1732, p.287).

A partir daí passou-se a usar a expressão corrente elétrica como denominação da passagem de eletricidade.

Depois deste experimento, Gray procurou investigar o quão longe poderia se propagar a eletricidade, colocando uma esfera de marfim pendurada por um pedaço de barbante fixado a uma das rolhas na extremidade do tubo de vidro. Testou usando pedaços maiores, até a esfera de marfim ficar na extremidade de um barbante com cerca de 3 metros de comprimento, constatando que a esfera de marfim ainda era capaz de atrair objetos. Então, para poder testar distâncias maiores, ele teve que fixar o barbante no teto de seu laboratório.

Estendeu vários metros, indo e voltando formando um zig-zag em sua oficina. As duas pontas do barbante ficaram pendentes no teto. Numa delas, Gray prendeu o

tubo de vidro, e na outra, a bola de marfim. Mas, dessa vez, a bola de marfim não atraiu pena alguma, por mais que Gray friccionasse o tubo de vidro - parecia que subitamente a eletricidade havia parado de fluir pelo barbante. Possivelmente ele deve ter se perguntado: seria o barbante muito longo, teria ele encontrado um trajeto extenso demais para a eletricidade?

Após mais alguns experimentos ele concluiu que problema não era o percurso da eletricidade – na verdade constatou que não havia mais eletricidade ali. Alguma coisa havia mudado o comportamento do conjunto tubo / barbante / bola de marfim - o que poderia ter sido?

Supondo que a eletricidade escapava pelo barbante quando este fazia contato com o teto por causa da espessura do mesmo, fios de seda muito finos foram então usados para sustentar o barbante. Desse modo, a corrente elétrica, ao passar pelo barbante, não poderia alcançar o teto, a menos que atravessasse os fios de seda, e estes eram supostamente finos demais para permitir a passagem da eletricidade.

Esta idéia se confirmou experimentalmente, pois quando friccionava o vidro em uma das extremidades do barbante, a bola de marfim, na outra ponta, atraía pequenos objetos, independentemente do comprimento do barbante. Segundo sua carta à Royal Society (GRAY, 1732, p.288) ele testou um fino arame de latão, em vez de fios de seda, para sustentar o barbante e a esfera de marfim, quando o comprimento deste primeiro tornou-se tão longo que os fios de seda começaram a se romper. Observou novamente que a manifestação da eletricidade desaparecera, constatando posteriormente que não era o diâmetro do material a causa de haver ou não a condução da eletricidade, mas a natureza de seu material.

Classificou então os materiais que pôde testar em dois tipos: os condutores, aqueles que permitiram a passagem da eletricidade, e os não condutores, aqueles que não permitiram sua passagem (GRAY, 1732, p.285). Gray pôde concluir, então, por que o vidro, âmbar, enxofre e outros materiais eram eletrificados por fricção - eram todos não condutores. Uma vez friccionados, enchiam-se de eletricidade que não podia ir a parte alguma. Propôs que se um pedaço de metal fosse friccionado, o fluido elétrico penetraria em quase tudo que o tocasse, tão rápida e facilmente que nenhuma eletricidade ficaria no metal. E, se o metal tocasse num não-condutor, tiraria todo o fluido elétrico que o não-condutor pudesse conter.

Gray demonstrou que qualquer corpo podia carregar-se de eletricidade: prendendo um menino ao teto, com fortes fios isolantes, ligando-o a uma máquina eletrostática como a de Guericke, comprovando depois que penas prenderam-se ao menino e à sua roupa.

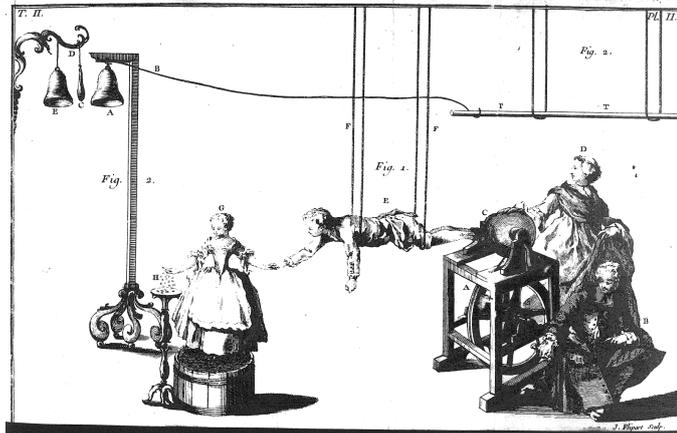


Figura 4 Ilustração do experimento feito por Joseph Gray com um menino suspenso em fios isolantes. Fonte: WATSON, 1748, p.154.

Charles Francis Du Fay, na França, também realizou alguns experimentos nesta mesma época, investigando a eletricidade e suas propriedades. Cobriu um pequeno pedaço de cortiça com finíssima camada de ouro e pendurou-a, por um fio de seda, ao teto. Tocando o pedaço de cortiça com uma vara eletrificada, essa eletricidade passaria para a cobertura externa, de ouro, e depois para a cortiça. Sendo a cortiça e o ouro sustentados pela linha de seda e não fazendo contato com nenhum outro objeto, a eletricidade supostamente não poderia escapar (Rollin, 1752).

Outro pedaço de cortiça foi preparado do mesmo modo que o primeiro, e pendurado ao lado dele, no teto, afastados cerca de 5 cm. Certificando-se que não havia correntes de ar na sala, para que os dois pedaços de cortiça não saíssem da posição vertical, friccionou um bastão de vidro com um pedaço de seda, tocando-o em seguida em um dos pedaços de cortiça. Como esperava, houve atração entre a cortiça eletrificada e a que não havia sido tocada. Os dois pedaços de cortiça, com cobertura de ouro, em vez de ficarem pendurados verticalmente, inclinaram-se levemente um em direção ao outro. Supondo que se ambos fossem eletrificados a força de atração entre os dois pedaços de cortiça duplicaria, Du Fay tocou primeiro um dos pedaços de cortiça, depois o outro. Para seu espanto, a atração entre os

pedaços de cortiça não ficou mais forte – ao invés disto eles estavam afastando-se um do outro, ou repelindo-se.

Surpreso com o resultado obtido, e desconfiando de um possível problema com o bastão de vidro, decidiu usar outro material, diferente do vidro. Testando um bastão de resina que antes friccionou com lã, encostou-a nos dois pedaços de cortiça, e observou novamente que eles afastaram-se um do outro, repelindo-se, repetindo o que havia sido observado antes, usando o vidro.

Observou também Du Fay que se ele tocasse uma das cortiças com o vidro e outra com o bastão de resina, elas atraíam-se. Isto o levou a concluir que havia dois tipos de fluidos elétricos - um era o tipo de fluido que enchia o vidro quando era friccionado e o outro era o que enchia a resina - “... há dois tipos distintos de eletricidade, muito diferentes um do outro; um dos quais eu chamo eletricidade vítrea, e o outro eletricidade resinosa.” (DU FAY, 1734).

Seventhly, Chance has thrown in my Way another Principle, more universal and remarkable than the preceding one, and which casts a new Light on the Subject of Electricity. This Principle is, that there are two distinct Electricities, very different from one another; one of which I call *vitreous Electricity*, and the other *resinous Electricity*. The first is that of Glafs, Rock-Cryftal, Precious Stones, Hair of Animals, Wool, and many other Bodies: The second is that of Amber, Copal, Gum-Lack, Silk, Thread, Paper, and a vast Number of other Subftances.

Figura 5 Trecho de "A Discourse concerning Electricity", de Charles François de Cisternay Du Fay. Fonte: DU FAY, 1734, p. 258.

Os resultados dos estudos de Gray, Du Fay e outros despertaram na comunidade científica grande interesse, e experimentos começaram a ser realizados em diversos lugares da Europa.

Diversas hipóteses foram formuladas acerca da natureza dos fenômenos elétricos e da própria eletricidade, gerando teorias diversas e explicações nem sempre aderentes ao que hoje sabemos sobre ela.

Partindo do princípio de que a eletricidade poderia ser uma espécie de fluido, formas de poder armazená-la começaram a ser investigadas. Por volta de 1745 um professor holandês, chamado Pieter Van Musschenbroek, trabalhando na universidade de Leyden, na Holanda, descobriu uma forma de armazenar eletricidade em uma garrafa, e por isso o novo invento, hoje conhecido como capacitor, passou a chamar-se garrafa de Leyden.

Segundo escreveu o professor Musschenbroek (Musschenbroeck, 1751, p.252), ele procurava armazenar cargas elétricas em um tanque com água, imaginando que dado o grande volume de água muita eletricidade ali poderia ser acumulada. Descobriu por acaso que se tocasse o suporte metálico que sustentava o tanque e a água uma descarga acontecia, o que o levou a sentir um choque elétrico. Isto comprovou que eletricidade havia sido armazenada no conjunto tanque/suporte, e possibilitou conceber o condensador, baseado em uma garrafa com água em seu interior e revestida de metal por fora. O invento recebeu o nome de garrafa de Leyden em homenagem à universidade onde foi inventada, e hoje este dispositivo é conhecido como capacitor.

Em 1775 o cientista italiano Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta apresentou à comunidade científica o dispositivo que ficou conhecido como eletróforo de Volta, considerado hoje em dia o precursor das máquinas de indução eletrostática, ou máquinas de influência. Mediante operações simples é possível obter cargas induzidas no prato condutor, suficientes para experimentos com eletrostática. Devido ao fato de que é possível recarregar o disco de material condutor repetidas vezes, sem a necessidade de atritar o disco isolante, Volta denominou seu invento de “eletróforo perpétuo” (FLEURY, 1883).

Experimentos com eletricidade deixaram de ser feitos apenas por estudiosos e apresentações nas cortes de muitos países na Europa se tornaram comuns – neste período de tempo a Europa estava em pleno iluminismo. Os conhecimentos acumulados até então – processos de indução eletrostática, atrito, carga, armazenamento de eletricidade, entre outros, permitiram que diversos fabricantes comesçassem a produzir as máquinas eletrostáticas, dispositivos que eram interessantes para pesquisa e demonstrações com eletricidade. Pesquisadores independentes desenvolveram distintos tipos de dispositivos para gerar altas diferenças de potencial, adequados aos experimentos e demonstrações sobre eletricidade que eram feitos na época – as máquinas eletrostáticas.

Máquinas eletrostáticas são geradores mecânicos de eletricidade estática. São divididas, devido a seu princípio de funcionamento, em dois grandes grupos: as de atrito, baseadas na separação de cargas por atrito físico entre dois materiais de natureza diferente, e de indução, também chamadas máquinas de influência, que se baseiam no efeito da multiplicação de tensão por indução eletrostática. As máquinas de atrito, tais como as máquinas de Ramsden em sua versão francesa e inglesa,

foram as primeiras formas desenvolvidas para a produção de eletricidade em uma quantidade tal que pudesse ser usada em experimentos e pesquisas, e praticamente toda a pesquisa inicial sobre eletricidade foi realizada com estes curiosos dispositivos como fonte de energia. Mais tarde foram desenvolvidas as máquinas de influência, mais potentes, sendo a mais conhecida delas a máquina de Wimshurst, ainda hoje encontrada em muitos laboratórios de Física. A partir de meados do século XIX já se conheciam formas mais práticas para a obtenção de eletricidade, usando geradores eletromagnéticos e baterias, baseados nas descobertas de Faraday, Öersted e outros, e o interesse pelo desenvolvimento destes dispositivos praticamente desapareceu. Ao fim do século XIX surgiram, por breve período de tempo, aplicações médicas em eletroterapia e como fontes de alimentação para primitivas máquinas de raios X. No século XX o gerador Van de Graaff e seus derivados encontraram aplicação em laboratórios de pesquisa em Física de alta energia, aplicação esta que persiste até hoje. Atualmente as máquinas eletrostáticas são pouco conhecidas, com muito de sua história esquecida, apesar de que os conhecimentos adquiridos com seu desenvolvimento permitiram a criação de inúmeras aplicações que conhecemos: impressoras jato de tinta, pára-raios, copiadoras de documentos, filtros para chaminés de fábricas são apenas alguns exemplos de aplicações originárias no desenvolvimento dos conhecimentos sobre eletrostática.

5 FUNCIONAMENTO DAS MÁQUINAS ELETROSTÁTICAS

5.1. MÁQUINAS DE ATRITO

De forma resumida pode-se afirmar que as máquinas de atrito realizam de forma prática o efeito conhecido desde Thales de Mileto, de que alguns materiais ficam eletrizados quando atritados. O contato entre materiais de diferente natureza, reforçado pelo atrito entre eles, provoca a transferência de cargas elétricas entre os materiais, que são a seguir afastados, com o conseqüente aumento da tensão elétrica entre as cargas separadas.

A máquina eletrostática de atrito mais primitiva de que se tem notícia foi desenvolvida por Otto Von Guericke. Foi a partir do final do século XVII que vários pesquisadores independentemente aperfeiçoaram a máquina de atrito: Francis Hauksbee, na Inglaterra, passou a usar globos de vidro girados por sistemas de polias e correias que eram atritados pelo contato com as mãos (WATSON, 1748). O uso das mãos para atrito foi gradualmente substituído pelo uso de almofadas de couro, melhoria esta que é atribuída a Johann Winkler, por volta de 1744 (DELAYNAY, 1809). Atribui-se a Georg Matthias Bose a forma final da máquina de atrito com globo. Ele incluiu um coletor de cargas isolado, coletando carga da superfície do globo pela proximidade.

Em 1752, na Inglaterra, surgiu a máquina de atrito que usava um cilindro de vidro, com almofada de atrito e coletor de carga com pontas. Máquinas similares foram populares por muito tempo, conhecidas como máquinas de Edward Nairne (VIGOUROX, 1882).

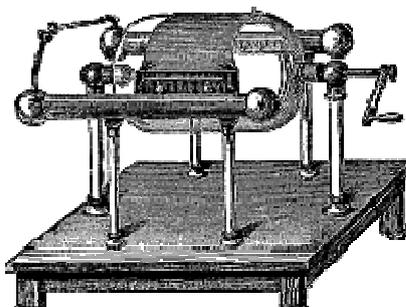


Figura 6 Máquina de Nairne. A evolução, neste caso, foi substituir o globo por um cilindro de vidro, mais fácil de construir, e que oferecia maior superfície de contato, gerando mais cargas.

Fonte: VIGOUROX, 1882, P. 21.

Jesse Ramsden, cientista inglês, substituiu então o globo ou cilindro de vidro por um disco de vidro que girava entre almofadas de couro por uma manivela, e as cargas eram coletadas por pentes de pontas em ambos os lados dos discos e armazenadas em cilindros ou canos de metal isolados, geralmente feitos de latão, um dos poucos metais disponíveis naquela época (VIGOUROX, 1882). Em algumas versões, o disco, após tocar as almofadas, era encoberto por uma capa de tecido isolante para minimizar o acúmulo de umidade e descargas parciais para as almofadas.

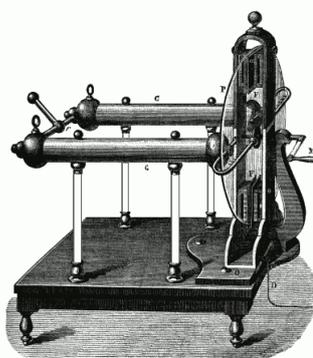


Fig. 586 (h = 10,70).

Figura 7 Máquina de Ramsden, estilo Frances. Sua maior inovação foi o emprego de um disco ao invés de um globo ou cilindro para a geração de cargas. É seguramente a mais popular das máquinas de atrito.

Fonte: CAVALHEIRO, 1942, p.227.

Outras versões de máquinas de atrito foram as de Georg Karl Winter e de Jean Baptiste Le Roy, que consistem em um disco de vidro montado em um eixo que é atritado em um lado por uma pequena almofada revestida de couro, e que tem coletores de carga em forma de anel com pontas voltadas para o disco do outro lado. Tensões positivas são coletadas nos coletores de carga, e negativas nas almofadas isoladas.

O armazenamento de cargas elétricas nas máquinas eletrostáticas da época era realizado em formas metálicas, normalmente cilíndricas ou esféricas. Para obter grandes quantidades de carga empregavam-se peças de grandes dimensões, normalmente feitas de latão. A invenção das garrafas de Leyden possibilitou a implementação de máquinas de pequenas dimensões, com grandes capacidades de armazenamento, adequadas aos laboratórios de pesquisa e de escolas.

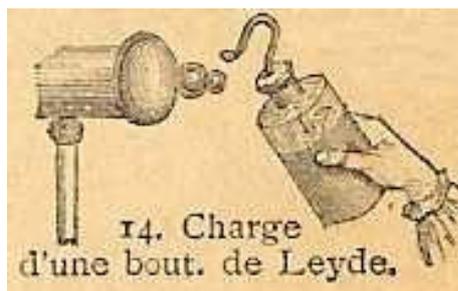


Figura 8 Garrafa de Leyden sendo carregada em uma máquina eletrostática de Ramsden.
Fonte: LAMARE, 1945, p.225.

As garrafas de Leyden se tornaram acessórios indispensáveis para as máquinas eletrostáticas de atrito, como forma de armazenar energia e promover a geração de faíscas elétricas que chamavam a atenção nas cortes da época.

5.2 MÁQUINAS DE INDUÇÃO ELETROSTÁTICA

Por volta de 1775, Alessandro Volta, cientista italiano, inventou um aparelho hoje conhecido como eletróforo de Volta. Ele é um dispositivo que consiste em uma placa isolante eletrizada por atrito que se coloca sob uma placa metálica presa a um cabo isolante. Se a placa metálica é colocada sobre a placa isolante que foi previamente eletrizada e é tocada, ela carrega-se com carga oposta à da placa eletrizada, e a carga assim carregada pode ser disponibilizada afastando-se uma da outra segurando a placa metálica pelo cabo. Ao afastar-se a placa condutora isolada da superfície da placa isolante eletrizada provoca-se um aumento da tensão desta primeira, e a tensão assim obtida pode ser usada para experimentos com eletricidade estática. Este processo pode ser repetido enquanto a placa isolante permanecer eletrizada, e é chamado de carregamento por indução, ou, buscando distinguir o efeito da indução eletromagnética, carregamento por influência eletrostática. Este processo, que não depende de atrito para separação de cargas, é a base do funcionamento das máquinas de influência (GRAY, 1903).

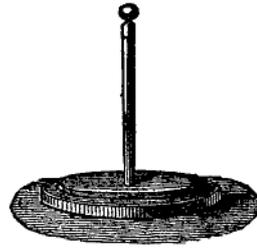


Figura 9 O eletróforo de Volta: sua invenção possibilitou a aplicação do conceito de indução eletrostática, ou “influência”, no desenvolvimento das máquinas eletrostáticas.
Fonte: LOURENÇO, 1939, p.214.

Abraham Bennet, em 1797 (GRAY, 1903) descobriu que uma modificação do eletróforo podia gerar cargas maiores por sucessivas duplicações de uma pequena carga inicial. O dobrador de Bennet consiste de três placas condutoras isoladas entre si, que através de movimentos e conexões cíclicas realiza um processo que dobra a carga em duas das placas, a cada ciclo completado.

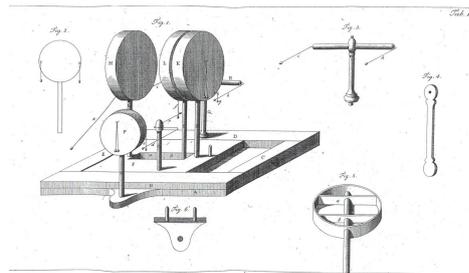


Figura 10 O dobrador de Bennet é um eletróforo com três placas que dobra a carga a cada ciclo através de um complicado processo manual.
Fonte: FLEURY, 1882, p.317.

Historicamente a primeira máquina rotativa de indução parece ter sido o chamado dobrador de Nicholson, concebido e construído por William Nicholson, cientista inglês, em 1788 (GRAY, 1903). Trata-se de uma versão rotativa do dobrador de Bennet, que faz todas as conexões necessárias automaticamente ao girar-se uma manivela.

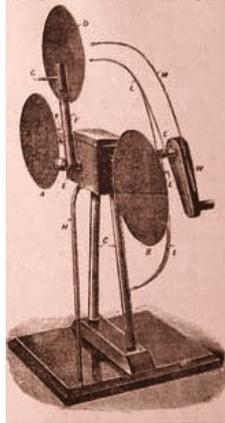


Figura 11 O Dobrado de Nicholson permite a obtenção de potenciais eletrostáticos mais elevados por automatizar as operações de envolviam conexões entre as placas.
Fonte: GRAY, 1903, p. 77.

Outro dispositivo, também desenvolvido no final do século XVIII foi o multiplicador de Cavallo, por Tiberius Cavallo. Tal dispositivo é um instrumento mais confiável que o dobrador de Bennet, já que ele funciona com todas as placas condutoras submetidas à baixas tensões durante a operação de multiplicação. A grande contribuição de Cavallo, entretanto, foi a constatação de que todo e qualquer material mantém sempre um pequeno desequilíbrio de cargas em relação ao meio ambiente, conceito este que permitiu explicar o processo de auto-excitação das máquinas eletrostáticas que iniciam sua operação sem a necessidade de uma carga inicial, como a produzida por atrito.

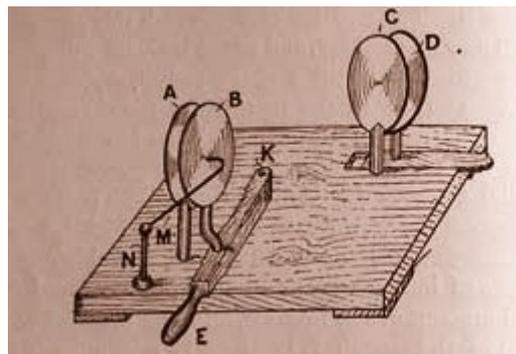


Figura 12 Ilustração de um multiplicador de Cavallo, inventado em 1788.
Fonte: Gray, 1903, p.80.

Uma aplicação do multiplicador de Cavallo parece ter sido a máquina de Wilson, que foi inventada em 1804 (GRAY, 1903) e que consiste em dois multiplicadores de carga de Cavallo, montados de tal maneira que um provocava um incremento na carga do outro. Um processo efetivo para aumentar as cargas

geradas por influência eletrostática foi idealizado por Giuseppe Belli na Itália, em 1831 (GRAY, 1903).

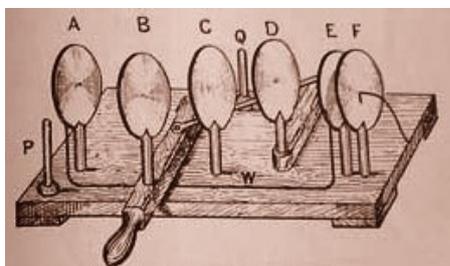


Figura 13 Máquina de Wilson, que é um aperfeiçoamento do multiplicador de Cavallo, e que foi concebida em 1804.
Fonte: GRAY, 1903, p.83.

A chamada máquina de Varley (inventada por C. F. Varley) foi a primeira de uma série de máquinas de influência potentes. Em 1865 Wilhelm Holtz, na Alemanha, apresentou sua máquina de influência de Holtz (Patente numero 74139, de quatro de fevereiro de 1868) que teve fundamental importância no processo de desenvolvimento das máquinas de influência. A máquina de Holtz funciona como um eletróforo de Volta duplo, tendo placas indutoras que são carregadas por cargas geradas na superfície traseira do disco rotativo. Holtz aperfeiçoou sua máquina fazendo-a mais estável e independente das condições ambientais colocando uma barra neutralizadora. Ele desenvolveu posteriormente uma máquina com dois discos que giram em sentidos opostos, chamada de máquina de Holtz do segundo tipo, em 1869.

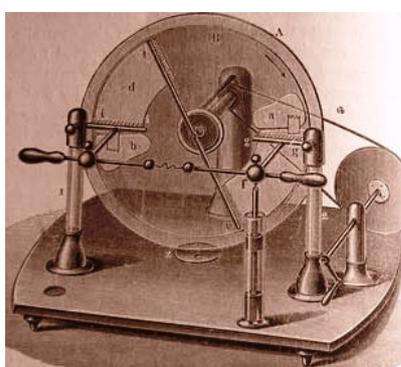


Figura 14 Máquina de Holtz do primeiro tipo.
Fonte: GRAY, 1903, p. 116.

A primeira máquina construída por Toepler, em 1865 (GRAY, 1903) é um tipo de eletróforo contínuo, duplo, que usa dois discos rotativos e com duas placas indutoras, em duas seções fisicamente separadas entre si e com um único eixo,

comum aos discos. Toepler, usando setores nos discos e escovas metálicas nos coletores de carga, fez com que sua máquina fosse capaz de iniciar sua operação sem a necessidade de uma carga externa inicial.

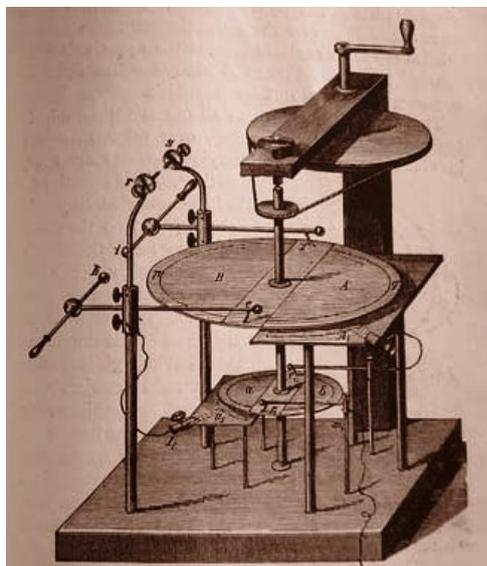


Figura 15 Máquina de Toepler com dois discos rotativos.
Fonte: GRAY, 1903, p. 97.

A máquina de Voss foi inventada em 1889 (Patenteada sob numero 410053, de 27 de Agosto de 1889) por Robert Voss, e é uma variação da primeira máquina de Holtz. Nela, as placas indutoras são carregadas a partir da frente do disco rotativo, que por sua vez tem um conjunto de botões metálicos fixados à sua superfície. Tocando estes botões instalam-se escovas metálicas na barra metálica neutralizadora e nos contatos que carregam os indutores, o que permite a auto-excitação da máquina (GRAY, 1903).

Em 1883, James Wimshurst, inventor inglês, apresentou sua máquina, que ficou conhecida como a máquina de Wimshurst e que pode ser encontrada em laboratórios de ensino de Física até hoje. Ela consiste em dois discos feitos de material isolante com uma série de setores metálicos colados em sua superfície que giram em sentidos opostos, separados por uma pequena distância; duas barras condutoras cruzadas que fazem o papel de neutralizadores, uma em frente a cada um destes discos, e peças em forma de U com pontas viradas para os discos e que são colocadas no sentido horizontal dos mesmos. As cargas geradas são então usualmente aplicadas a garrafas de Leyden que se carregam com enormes

potenciais, o que possibilita a obtenção de faíscas brilhantes e ruidosas, adequadas para experimentos e demonstrações.

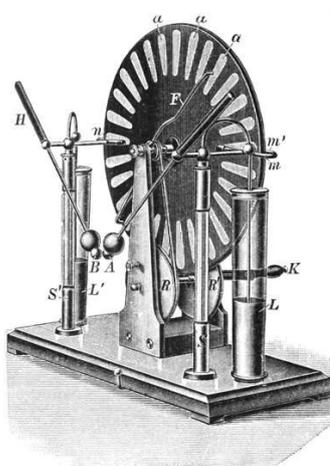


Figura 16 A máquina de Wimshurst: seguramente o modelo mais conhecido de máquina de indução eletrostática (CASTELFRANCHI, 1908, p.422)

Um fabricante de máquinas eletrostáticas italiano passou a produzir, por volta de 1894, uma versão da máquina de Wimshurst sem os setores metálicos, que produzia tensões ainda mais elevadas que esta, que ficou conhecida com o nome deste fabricante - a máquina de Bonetti (FORD, 2001).

Em 1908, Heinrich Wommelsdorf patenteou a máquina de Wommelsdorf (Patenteada sob o número 882508, de 17 de março de 1908), mais eficiente que suas antecessoras e capaz de operar em ambientes com muita umidade relativa do ar – problema este comum a quase todas as máquinas eletrostáticas.

A máquina de Wehrsen, patenteada em 1909 (Patenteada sob o número 36027 emitida na Áustria) pelo construtor Alfred Wehrsen, é uma máquina de Holtz com setores encapsulados no disco móvel, e indutores isolados por placas isolantes no disco fixo. Em 1960 surgiram também os chamados Dirods, nome oriundo da junção de parte das palavras “Disk” e “Rod”, de A. D. Moore, que são máquinas que usam varetas fixadas a discos para transportar as cargas que são separadas por indução eletrostática (MOORE, 1982).

A era do desenvolvimento e aperfeiçoamento das máquinas eletrostáticas que empregavam discos chegou ao seu fim com a invenção do gerador eletrostático de Robert Van de Graaff, patenteado em 1935. Segundo consta na patente do invento feito por Van de Graaff, a tensão máxima obtida com geradores eletrostáticos a disco (máquinas eletrostáticas) e dispositivos elétricos (transformadores) com

retificadores chegava a não mais que 700 kV, e demandas para diferenças de potencial mais elevadas se faziam presentes, o que o levou a conceber este novo tipo de gerador (GRAAFF, 1935). Consiste o mesmo basicamente em uma correia de material altamente isolante que ao se movimentar sobre roletes transporta cargas elétricas até o interior de uma esfera na qual a carga é extraída e se acumula na sua superfície. Com esta arquitetura pode-se conseguir potenciais muito altos. Na patente 1.991.236, de 12 de Fevereiro de 1935, o próprio Van de Graaff apresenta o projeto de um gerador para produzir mais de 10MV (GRAAFF, 1935)

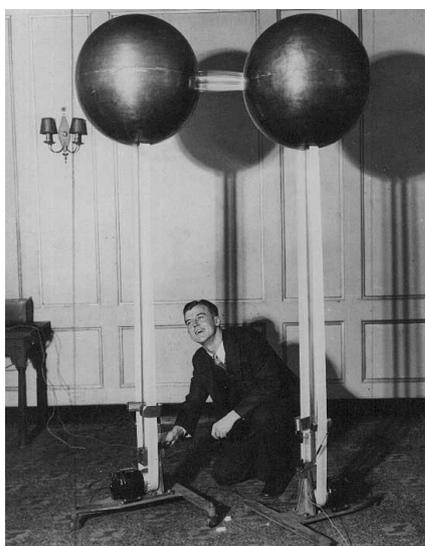


Figura 17 O próprio Robert Van de Graaff demonstra seu invento, em 1935.

Fonte: Museu de Ciência de Boston, disponível para download em <http://www.mos.org/sln/toe/history.html>

Existem variações do gerador Van de Graaff, como o Pelletron, desenvolvido em 1984 que usa cadeias de peças metálicas isoladas entre si no lugar de uma correia contínua. Este método é interessante por causa da durabilidade do conjunto, maior que o de correias isolantes convencionais, e também porque distribui de forma mais uniforme as cargas extraídas, o que contribui para a obtenção de maiores potenciais elétricos para equipamentos equivalentes.

6 A EDUCAÇÃO E AS ATIVIDADES EXPERIMENTAIS NO ENSINO DE FÍSICA

A educação é tema permanente de discussão entre estudiosos, professores e especialistas. Ela é uma condição básica no desenvolvimento natural do homem, segundo renomados autores como Jean Piaget, Paulo Freire e outros. Segundo Piaget (PIAGET, 1979) o aluno constrói seu conhecimento a partir de fontes observáveis, ou seja, a partir de objetos com os quais tem contato, e através deste contato percebe características físicas e realiza ações.

Sabe-se que muitas vezes o aluno tem maior prazer e interesse em aprender quando os assuntos da sala de aula se relacionam com suas experiências cotidianas, tais como brincadeiras, desafios, etc. e que esta cultura lúdica não é geralmente valorizada nas escolas. Os alunos são, na prática, tratados como sujeitos iguais e desvinculados de interesses próprios.

As propostas formuladas para o encaminhamento de possíveis soluções para esta realidade apontam para a orientação de se desenvolver uma educação que promova a participação plena dos alunos, capacitando-os a compreender os avanços da tecnologia de forma a atuar de modo consciente, responsável e fundamentado ante as novas possibilidades que se lhe oferecem. E é exatamente nesta direção que o entendimento da Física, em especial, constitui um elemento fundamental na formação do indivíduo e da cidadania.

De acordo com estas considerações o uso de atividades experimentais como estratégia para o ensino da Física tem sido apontado como uma das maneiras mais eficazes de contornar as dificuldades de se aprender e ensinar Física de maneira consistente, por isto

A análise do papel das atividades experimentais desenvolvida amplamente nas últimas décadas revela que há uma variedade significativa de possibilidades e tendências de uso dessa estratégia de ensino de Física, de modo que estas atividades podem ser concebidas desde situações que focalizam a mera verificação de leis e teorias, até situações que privilegiam as condições para os alunos refletirem e reverem suas idéias a respeito dos fenômenos e conceitos abordados, podendo assim atingir um nível de aprendizado que lhes permita efetuar uma reestruturação de seus modelos explicativos dos fenômenos (ARAÚJO, 2003, p.177).

A metodologia empregada para ensinar Física pode variar segundo diferentes graus de ênfase dada à matemática, graus de direcionamento aplicado

(demonstração, verificação ou investigação), emprego em maior ou menor escala de novas tecnologias, o quão relacionado às atividades estão com o cotidiano dos alunos, que possibilidades de interdisciplinaridade são factíveis e em que graus são necessárias atividades de projeto, assim como a confecção e execução de dispositivos, ou se são usados equipamentos prontos, pré-fabricados (ARAÚJO, 2003).

A cada uma destas propostas pode-se avaliar e atribuir vantagens e desvantagens, mas todas estão centradas na premissa da importância da atividade prática/experimental na construção do conhecimento. Independentemente do modelo de atividade adotado, e graças a estas atividades experimentais o aluno é desafiado a sair do mundo dos conceitos e das linguagens e relacionar o que aprende nestes dois mundos com o mundo empírico, dando sentido ao formalismo e abstração das linguagens, trazendo o conteúdo ao seu convívio (SÉRE, 2003).

A maneira mais comum de se utilizar o experimento com alunos é aquela na qual não há nada para ser discutido: a eles é fornecido um roteiro com a metodologia, material que deve ser manipulado e uma lei que deve ser verificada mediante a observação de algum fenômeno (SÉRE, 2003). Existe também outro tipo de abordagem, segundo a qual a lei não é questionada, mas sim tomada de forma dogmática e usada como ferramenta para calcular um parâmetro, a exemplo de como ocorre em um laboratório de testes ou ensaios. Além disto, recursos como a informática podem ser usados para demonstrações que permitam ao aluno imaginarem e comparar modelos.

Através dos trabalhos práticos e das atividades experimentais, o aluno deve se dar conta de que para desvendar um fenômeno é necessária uma teoria. Além disto, para obter uma medida e também para fabricar os instrumentos de medida é preciso muita teoria. Pode-se dizer que a experimentação pode ser descrita considerando-se três pólos: o referencial empírico; os conceitos, leis e teorias; e as diferentes linguagens e simbolismos utilizados em Física. (SÉRE, 2003, p.38-39).

Outro aspecto importante e até agora não mencionado refere-se à dificuldade inerente à formação de conceitos ligados a áreas do conhecimento que estão fundamentadas em princípios não absolutamente definidos, como por exemplo, campos elétricos ou cargas. Afora a dificuldade encontrada por não haver uma definição absoluta sobre estes conceitos, sua simples abordagem sob a ótica da

matemática muito provavelmente não permite ao aluno alcançar a plena compreensão de seu significado. (DOMINGUEZ, 1988).

Por fim cabe aqui comentar que muitos professores consideram-se qualificados para sua função apenas por ensinarem aquilo que suas disciplinas exigem, reduzindo práticas docentes à simples apresentação de conteúdos, e que uma postura autoritária ante qualquer indagação que fuja ao planejado numa atividade em aula é a melhor maneira de lidar com seus alunos ante estas situações. Esta postura está alinhada com o modelo no qual o professor ensina e o aluno aprende - modelo muito criticado e sabidamente inadequado. Nas palavras de Paulo Freire, “Às vezes mal se imagina o que pode passar a representar na vida de um aluno um simples gesto do professor. O que pode um gesto aparentemente insignificante valer como força formadora ou como contribuição à formação do educando por si mesmo” (FREIRE, 2004, p.42).

A importância da participação ativa do aluno na estruturação do conhecimento é muito bem apresentada na obra de Piaget, que discorrendo sobre o processo de interiorização do conhecimento e a conexão do sujeito e do conteúdo afirma:

Em resumo, já sobre o terreno da percepção, o sujeito não é o simples teatro em cujo palco se representam peças independentes dele e previamente reguladas por leis de uma equilibração física automática: ele é o ator e, com frequência mesmo, o autor dessas estruturações que ajusta, na proporção de seu desenrolar, por uma equilibração ativa feita das compensações opostas às perturbações exteriores, portanto, por uma contínua auto-regulação (PIAGET, 1979, p.32).

Limitar, portanto, as ações para o aprendizado sem levar em consideração a importância do envolvimento do conteúdo com a realidade de cada aluno e sua necessidade de formar conceitos implicará necessariamente em dificuldades adicionais neste processo.

Compartilhar os conhecimentos adquiridos ao longo da vida, buscando de forma permanente os melhores métodos e práticas pedagógicas é indiscutivelmente o caminho para garantir que o professor fez o mínimo para a formação de melhores cidadãos, melhor sociedade e melhor futuro.

7 PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO DAS ATIVIDADES EM AULA

As atividades em aula foram divididas em duas etapas: expositiva e experimental. A primeira parte, expositiva, consistiu na apresentação da pesquisa que foi realizada pelo autor, juntamente com a leitura de material impresso fornecido aos alunos e da análise de uma linha de tempo que procurou estabelecer uma relação cronológica dos eventos relacionados ao desenvolvimento do conhecimento sobre eletrostática.

A parte experimental desta pesquisa foi planejada sob a forma de um trabalho didático no qual os alunos são estimulados a manusearem máquinas eletrostáticas e reproduzirem algumas simples demonstrações sobre a eletricidade estática. Foram oferecidos aos alunos materiais comuns para que eles mesmos pudessem reproduzir os fenômenos de eletrização por atrito e indução eletrostática. Por fim demonstrou-se o funcionamento de algumas máquinas eletrostáticas, ilustrando os resultados obtidos com seu desenvolvimento.

7.1 PREPARAÇÃO DAS ATIVIDADES

A preparação do trabalho de campo envolveu uma reunião efetuada com o professor titular da disciplina de Física de uma escola particular confessional de Porto Alegre, para definir-se a série, turma e turno com a qual seria desenvolvido o trabalho. Foi acordado com o professor que a turma seria a 301, do terceiro ano do ensino médio. Durante esta reunião foi apresentado de forma resumida o conteúdo a ser abordado, os objetivos a serem alcançados e discutiram-se as melhores estratégias para a realização das atividades. Planejou-se a apresentação de uma aula com uma parte introdutória, expositiva, na qual se distribuiu um texto resumo com a história da eletrostática e do desenvolvimento das máquinas eletrostáticas. Em seguida foi previsto um conjunto de atividades práticas a serem propostas aos alunos, envolvendo conceitos sobre a eletrostática e empregando materiais simples, como forma de motivá-los a aprofundar os seus conhecimentos sobre o assunto. Tal conjunto de atividades práticas dividiu-se em uma parte experimental, com a interação direta dos alunos, e uma parte demonstrativa, que incluiu a demonstração de algumas máquinas eletrostáticas.

Todas estas atividades foram previamente apresentadas e discutidas com o professor, assim como os objetivos a serem alcançados com sua execução. Entregou-se ao professor uma cópia impressa com o conteúdo que foi utilizado em aula, de forma a permitir sua avaliação, assim como o roteiro contendo as atividades que foram planejadas e acordadas.

8 ATIVIDADES REALIZADAS

Durante a aula realizada no dia 6 de junho de 2008, entregou-se aos alunos material impresso sobre a história da eletrostática e o desenvolvimento de máquinas eletrostáticas (capítulo 5 do presente trabalho). Em seguida, os alunos receberam um guia para a execução de um experimento, envolvendo um eletróforo de Volta, além dos materiais necessários para a execução da montagem deste dispositivo. Também foram propostos alguns testes a serem realizados com estes materiais. Por fim, os principais tipos de máquinas eletrostáticas (capítulo 6 do presente trabalho) foram analisados e demonstrou-se o funcionamento de algumas máquinas eletrostáticas e os fenômenos que podem ser observados com as descargas elétricas.

9 MATERIAIS EMPREGADOS NAS ATIVIDADES EM AULA

O principal objetivo do trabalho foi estudar de que forma o desenvolvimento do conhecimento sobre a eletrostática e das máquinas eletrostáticas poderia influenciar o interesse dos alunos pela Física. Para tanto foram realizados pelos alunos um experimento envolvendo a eletrização por atrito e por indução eletrostática, envolvendo os seguintes materiais:

1. Disco de acetato (disco de música antigo);
2. Forma de pizza de alumínio com um cabo de plástico (corpo de uma caneta esferográfica) colado em seu centro;
3. Pedaco de couro animal;
4. Guia para as atividades práticas (Apêndice C).

10 PROCEDIMENTOS E AÇÕES EM AULA

Todas as atividades com os alunos foram realizadas em dois períodos de aula. Inicialmente apresentou-se de forma resumida do trabalho que iria ser realizado com eles, o tipo de atividades que iria ocorrer em aula e os conteúdos que seriam tratados. Em seguida iniciou-se uma aula expositiva na qual o conteúdo apresentado foi o do capítulo 5 do presente trabalho de pesquisa. Procurou-se enfatizar o contexto no qual as descobertas aconteceram e as teorias foram formuladas, vinculando os momentos históricos marcantes com a evolução do conhecimento através do uso de uma linha de tempo, que foi entregue aos alunos e que consta no ANEXO B.

Comentou-se em aula as conseqüências e as aplicações práticas dos conhecimentos que o homem adquiriu sobre a eletrostática, tais como os pára-raios, tubos de televisão, impressoras jato de tinta e a laser, dentre outros, procurando estabelecer uma conexão com a experiência cotidiana dos alunos.

Em seguida, apresentaram-se aos alunos os processos de eletrização (por atrito e indução) e distribuiu-se uma folha contendo instruções, que se encontra no Apêndice C.

A turma foi, então, separada em pequenos grupos, e a eles foi concedido tempo de 20 minutos para que realizassem os experimentos e discutissem entre si de forma a encontrar as respostas às questões propostas.

Ao final deste tempo promoveu-se uma discussão envolvendo toda a turma, com o objetivo de levá-los, em conjunto, a concluir sobre as causas que promoveram os efeitos observados durante os experimentos propostos. Em seguida, de maneira resumida, apresentou-se o histórico da evolução das máquinas eletrostáticas, conforme o conteúdo do capítulo 6 deste trabalho.

Durante a apresentação deste histórico, de forma expositiva, realizou-se também a demonstração da máquina de Ramsden em funcionamento, empregando um eletroscópio caseiro; da máquina de Wimshurst acendendo uma pequena lâmpada de descarga a gás, e por fim da máquina de Bonetti produzindo grandes descargas elétricas. Durante estas demonstrações procurou-se estabelecer conexão entre as conclusões tiradas pelo grupo sobre o funcionamento do eletroscópio e o funcionamento das diferentes máquinas eletrostáticas, evidenciando os princípios de funcionamento das mesmas.

Enfatizou-se que tais máquinas nada mais são do que aplicações práticas de princípios que foram apresentados, sendo a máquina de Ramsden uma aplicação concreta do processo de eletrização por atrito e as máquinas de Wimshurst e de Bonetti exemplos de dispositivos que funcionam baseados principalmente no princípio da indução eletrostática.

11 INSTRUMENTOS DE PESQUISA

O instrumento de medida que foi empregado para avaliar a abordagem adotada, além da temática proposta no presente trabalho de pesquisa, foi uma entrevista realizada com o professor titular da disciplina de Física da escola participante, mas não com os alunos envolvidos. Esta entrevista, cujo roteiro foi devidamente validado pelo orientador, encontra-se no Apêndice A.

Optou-se por esta metodologia de avaliação do trabalho por duas razões: em primeiro lugar porque o professor de Física da escola participante demonstrou larga experiência no ensino, e julgou-se que a ampla abrangência dos seus critérios para analisar a validade e a eficiência dos métodos propostos provavelmente produziria uma avaliação mais acurada do que se poderia esperar se esta fosse realizada diretamente com os alunos, apenas. E em segundo lugar porque o curto intervalo de tempo previsto para realização desta monografia forçou-nos a escolher entre aplicar o instrumento a um ou a outro dos atores do processo educativo desenvolvido.

12 COLETA DE DADOS

Os dados de avaliação das atividades de ensino propostas foram coletados através da realização de uma entrevista com o professor nos dias 05 de junho de 2008 (antes da atividade) e dia 9 de junho de 2008, após a realização das atividades, na escola participante, seguindo um roteiro conforme apresentado no Apêndice A. As respostas obtidas, escritas pelo próprio professor, foram posteriormente enviadas por correio eletrônico para o autor deste trabalho.

13 RESULTADOS OBTIDOS

As atividades planejadas foram realizadas na seqüência pré-definida com a turma 301, composta de 25 alunos presentes. A parte expositiva foi apresentada da maneira tradicional, usando o texto fornecido aos alunos para acompanhamento do desenvolvimento do tema. Observou-se algum desinteresse de um pequeno grupo de alunos (5 alunos), que aparentemente estava desenvolvendo alguma atividade relativa à outra disciplina no fundo da aula. A apresentação das máquinas eletrostáticas, entretanto, parece ter atraído a atenção de todos eles.

Digna de nota foi a presença de dois alunos deficientes visuais, que se interessaram muito pelas máquinas e pelo conteúdo apresentado. Um esforço foi feito no sentido de apresentar as máquinas a estes alunos acompanhando-os na utilização do tato para que pudessem sentir o formato e as características dos aparelhos, explicando a função de cada peça e do conjunto. Por fim, eles demonstraram haver compreendido completamente o que foi exposto sobre as mesmas.

O dia escolhido para a realização da aula foi chuvoso, com a umidade do ar próxima aos 85%, o que é extremamente prejudicial à realização de experimentos com a eletrostática por causa da fuga de carga dos corpos eletrizados. Um secador de cabelos foi usado para minimizar a umidade o que permitiu que os experimentos fossem realizados com êxito.

Durante a demonstração das máquinas eletrostáticas em operação convidou-se os alunos a operarem as mesmas, e eles interessaram-se muito por entender seu funcionamento. Por iniciativa dos próprios alunos organizou-se uma “corrente humana” com todos eles de mãos dadas e tocando os pólos da máquina de Wimshurst com a mesma em funcionamento. O efeito do pequeno choque elétrico interessou-os sobremaneira, inclusive gerando questionamentos sobre o efeito de raios e choques elétricos.

Com base no roteiro apresentado no Apêndice A, apresentado e discutido com o professor de Física da escola participante, obteve-se os seguintes resultados às perguntas efetuadas ao professor, que foram respondidas e enviadas por correio eletrônico para o autor:

Questão: Que mudanças, sob o aspecto motivacional, foram observadas nos alunos no tocante ao seu interesse pela disciplina de Física, perante a metodologia usada?

Resposta: “Houve uma notória participação dos alunos, principalmente quando os alunos tiveram a possibilidade de interagir com o material apresentado.”

Adicionalmente a esta resposta por escrito foi também comentado pelo professor (durante os encontros pessoais com ele realizados) que as atividades de cunho prático, que envolvem experimentos e demonstrações apresentam sempre bons resultados do ponto de vista motivacional, pois ocorre sempre um observável aumento do interesse dos alunos pelos assuntos propostos.

Questão: Em que medida a abordagem adotada, que tratou de apresentar a eletrostática sob três diferentes pontos de vista – histórico, tecnológico e científico, mostrou-se eficiente na formação de opinião e agregou efetivamente conhecimento aos alunos?

Resposta: “A abordagem pode situar os alunos sobre a participação da ciência, mais precisamente, da eletricidade no desenvolvimento da nossa civilização através de um contexto histórico, ou seja, como a eletricidade contribuiu para a evolução do conhecimento humano. Foi mostrado também como o desenvolvimento tecnológico ocorreu devido ao avanço da eletricidade, suas aplicações e, sobretudo, do uso da eletricidade na nossa vida diária.”

Questão: O emprego de materiais comuns em experimentos simples e interessantes foi proposto com o objetivo de verificar se esta técnica é adequada para motivar e chamar a atenção dos alunos. Que resultados motivacionais você observou nos alunos a partir das atividades experimentais?

Resposta: “Os alunos participaram ativamente dos experimentos propostos, além dos elogios pronunciados pelos mesmos após a aula, o que evidenciou claramente o fato de que não são necessários equipamentos ou componentes de alta tecnologia ou complexidade para atingir os objetivos propostos”.

Questão: De que forma o tema e a metodologia que foram empregados se prestam para a realização de atividades interdisciplinares no âmbito escolar ou comunitário? Como isto poderia ser feito?

Resposta: “O tema é bastante abrangente no cotidiano dos alunos: o assunto pode servir, por exemplo, para estudo de relâmpagos, maneiras de as pessoas se protegerem, já que a incidência de raios no Brasil é muito grande, cerca de 70 % do total de raios que caem no mundo, segundo dados do INPE; os efeitos biológicos que os raios causam nos seres humanos, etc.”

Questão: Do ponto de vista prático, que dificuldades você poderia encontrar para implementar uma ação semelhante que envolvesse outros conteúdos da Física?

Resposta: “Nenhuma, pois esta forma de apresentação já é utilizada pelo professor nas aulas de Física em vários conteúdos, e demonstra ser efetiva no processo do ensino de Física.”

O professor apresentou, durante os encontros realizados preliminarmente às atividades em aula, uma série de dispositivos construídos por ele mesmo no laboratório da escola, e comentou que considera este tipo de iniciativa da maior importância para o aprendizado.

Questão: De que forma a metodologia e o conteúdo abordados podem contribuir para a elaboração, por parte dos alunos, de uma percepção da Ciência como uma construção humana?

Resposta: “A interação é uma peça chave para que os alunos construam seus próprios conhecimentos, aprendam a aprender, isso possibilita aos alunos perceberem a ciência como algo próximo, que faz parte do seu cotidiano.”

Questão: Que diferenças positivas (ou negativas) você percebeu entre a metodologia e as atividades realizadas e a aplicação de atividades experimentais que você normalmente utiliza?

Resposta: “Pode-se dividir a aula que foi apresentada em dois momentos: o primeiro momento, expositivo e o segundo experimental. Depois de observados os alunos em sala e também através de perguntas feitas a eles, pode-se perceber que no primeiro momento, um grupo de alunos achou um tanto maçante, outros acharam interessante. No segundo momento, ou seja, as atividades experimentais 90 – 95 % dos alunos afirmaram que foi “show”.”

Questão: Em termos de resultados educacionais, que alterações você considera úteis para que a interação que os alunos tiveram com as máquinas eletrostáticas contribua para a melhoria do processo de ensino-aprendizagem em Física?

Resposta: “Tais atividades devem ocorrer concomitantemente ao desenvolvimento de conteúdo. O conteúdo da aula apresentada estava deslocado em relação ao andamento regular da disciplina, que estaria iniciando a abordagem do tema eletrostática a partir da semana seguinte à apresentação da aula sobre os temas deste trabalho.”

Além disto, sugeriu que se utilize um dia seco para a realização destas atividades, evitando os problemas encontrados em sua realização.

Questão Qual a sua opinião geral sobre a proposta de trabalho que implementamos, considerando a sua experiência cotidiana com estes alunos?

Resposta: “Mostrar cada vez mais materiais para que eles (alunos) interajam com o mundo maravilhoso que é a Física. Os alunos podem ver a Física de outra maneira que não seja apenas aquela dos livros de Física, a Física matematicista, de resolver exercícios.”

14 CONCLUSÕES

Baseado nos resultados observados pelo autor durante a realização das atividades em aula, mediante a observação da reação dos alunos, e na entrevista com o professor de Física da turma 301 da escola participante, pode-se concluir ser efetiva a proposta de abordar o estudo da eletricidade, em particular da eletrostática, utilizando o estudo do desenvolvimento das máquinas eletrostáticas.

Apesar de a tecnologia envolvida ser considerada ultrapassada e de pouco uso na prática, observou-se grande interesse dos alunos sobre os assuntos abordados, bem como o surgimento de questionamentos diversos acerca dos efeitos observados em aula. Isto permitiu concluir que a abordagem utilizada se presta também ao desenvolvimento de conteúdos multidisciplinares, como por exemplo, a relação entre a ocorrência de descargas elétricas e a teoria do surgimento da vida; o contexto social e histórico no período em que esta tecnologia foi desenvolvida, etc.

Ficou claro também que a apresentação de aulas somente expositivas, como na primeira parte das atividades realizadas, não apresenta resultados tão eficazes sob o aspecto motivacional como os alcançados com as atividades práticas realizadas. A interação dos alunos com os materiais e dispositivos apresentados motivou-os a refletir baseados não apenas no que ouviam, mas também sobre aquilo que efetivamente estava sendo observado, e esta parece ser a melhor alternativa para o aprendizado.

Também chamou a atenção o fato de que o tema e os efeitos produzidos pelas máquinas eletrostáticas funcionaram também com alunos deficientes visuais, que apesar de não enxergarem os dispositivos puderam tocá-los e perceberem efeitos por eles produzidos, tais como o odor de ozônio, ruídos causados pelas descargas elétricas, pequenos choques, etc. além de poderem efetivamente tocar no objeto de estudo.

Percebeu-se também que as atividades de cunho prático devem ser realizadas mescladas com o desenvolvimento de conteúdos; a realização em uma mesma aula de duas atividades, uma expositiva e outra baseada em experimentos e demonstrações possibilitou promover uma discussão bastante ampla que evidenciou o interesse dos alunos e um bom aproveitamento geral do conteúdo.

Foi interessante observar as manifestações de alguns alunos quanto à eficiência observada de diferentes máquinas e às conclusões a que chegaram os

alunos com relação ao desenvolvimento das máquinas eletrostáticas e seu desempenho, que reforçaram a idéia de que a ciência se desenvolve em pequenos passos, dados com a contribuição de muitos pesquisadores. Isto ficou evidente quando eles compararam, por sua conta, o desempenho da máquina de Ramsden, de atrito, com a máquina de Wimshurst, de indução eletrostática, e com o eletróforo que eles mesmos testaram.

Apesar das dificuldades inerentes à eventual construção de dispositivos como os usados na aula apresentada, que podem ser facilmente contornadas mediante o uso de equipamentos simples como o eletróforo de Volta, o tema avaliado e a forma de sua abordagem mostrou-se adequado às boas práticas no ensino de Física.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] WATSON, Walter. **Curso de Física**. 3ª edição. Madrid: Editorial Labor S.A., 1957, 934p.
- [2] CAVALHEIRO, Luiz e Nicolau Argelino. **Física**. 1ª edição. São Paulo: Saraiva e Companhia Editores, 1942, 347p.
- [3] DELAUNAY, Claude Veau. **Manuel de L'électricité**. Paris: Duprat Duverget, 1809, 369p.
- [4] GRAY, Joseph. **Philosophical Transactions of the Royal Society # 37**: A Letter to Cromwell Mortimer. Londres: Royal Society Publishing, 1732, 652p.
- [5] ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira. **Atividades Experimentais no ensino de Física**: Diferentes Enfoques, Diferentes finalidades. Volume 25 numero 2. São Paulo: Revista Brasileira de Ensino de Física, Junho de 2003, 4p.
- [6] CHALMERS, A.F.. **O que é a Ciência, afinal?** Brasília: Editora Brasiliense, 1993, 226p.
- [7] GRAY, John.. **Electrical Influence Machines**: Their Historical Development and Modern forms. Londres: Whittacker and Co., 1890, 337p.
- [8] WATSON, Guill. **Recueil de Traités sur L'électricité**: Experiences et observations pour server a l'explication de la Nature et des propriete's de L'électricité. Segunda parte. Paris: Sebastien Jorry, 1748, 156p.
- [9] ROLLIN, Ches. **Histoire Générale ET Particuliere de L'électricité**. Primeira Parte. Paris: Quay des Augustins, 1752, 188p.
- [10] DU FAY, Charles François de Cisternay. **Philosophical Transactions of the Royal Society # 38**: A Discourse concerning Electricity. Londres: Royal Society Publishing, 1734, 5p.
- [11] FLEURY, J.. **Traité de Physique Élémentaire**. Paris: Hector Manceaux Impriméur – Editeur, 1883, 617p.

[12] MUSSCHENBROEK, Pierre Van. **Essay de Physique**: Et un Recueil d'Expériences, Tomo I. Paris: Samuel Luchtmans, Imprimeur de l'Université de Leyden, 1751.

[13] VIGOUROX, Paul. **L'électricité Statique**: Emploi em Thérapeutique. Paris: Librairie J. B. Bailliére ET Fils, 1882, 103p.

[14] FORD, Richard. **Homemade Lightning**: Creative Experiments in Electricity, 3a edição. U.S.A: McGraw-Hill, 2001, 249p.

[15] MOORE, A. D.. **Electrostatics**: exploring, controlling, and using static electricity, 2ª edição. USA: Laplacian Press, 1982, 237p.

[16] Disponível em <<http://www.coe.ufrj.br/~acmq/electrostatic.html>> Acesso em março de 2008.

[17] Disponível em <<http://paginas.terra.com.br/saude/feijoshp/chispas/index.html>> Acesso em março de 2008.

[18] DOMINGUES, Maria Eugênia. **Significados Atribuídos aos Conceitos de Campo Elétrico e Potencial Elétrico por Estudantes de Física Geral**, volume 10. São Paulo: Revista Brasileira de Ensino de Física, 2003, 16p.

[19] FREIRE, Paulo. **Pedagogia da Autonomia**: saberes necessários à prática educativa. São Paulo: Paz e Terra, 2004, 98p.

[20] FREIRE, Paulo. **Educação e Mudança**. São Paulo: Paz e Terra, 1979, 49p.

[21] Disponível em <<http://www.uni-magdeburg.de/org/ovgg/deutsch/english/welcome.html>> Acesso em abril de 2008.

[22] CASTELFRANCHI, Gaetano. **Fisica Sperimentale e Applicata**, Primeiro Volume. Milão: Editora Ulrico Hoepli, 1908.

[23] GUERICKE, Otto Von. **Experimenta Nova (ut vocantur) Magdeburgica de Vacuo Spatio Primùm à R.P. Gaspare Schotto**. Amsterdam: J. Janssonium a Waesberge, 1672, 244p.

[24] PACHECO, Décio. **A Experimentação no Ensino de Ciências**. São Paulo: Revista Ciência e Ensino, volume 2, p.10. 1997, 1p.

[25] SÉRÉ, Marie Genevière; COELHO, Suzana Maria; NUNES, Antônio Dias. **O Papel da Experimentação no Ensino de Física**. Florianópolis: Caderno Brasileiro do Ensino de Física, volume 20, numero 1, 2003, 11p.

[26] GRAAFF, R, J. Van de. **Electrostatic Generator**: Patent number 1.991.236. Massachusetts, United States Patent Office, 1935, 12p.

[27] Disponível em <(http://www.mos.org/sln/toe/history.html)>. Acesso em abril de 2008.

[28] LAMARE, João São Paulo. **Física – 3ª Série**. São Paulo, Livraria Francisco Alves, 1945, 312p.

[28] PIAGET, Jean. **O Estruturalismo**. São Paulo: Editora Difel, 1979, 75p.

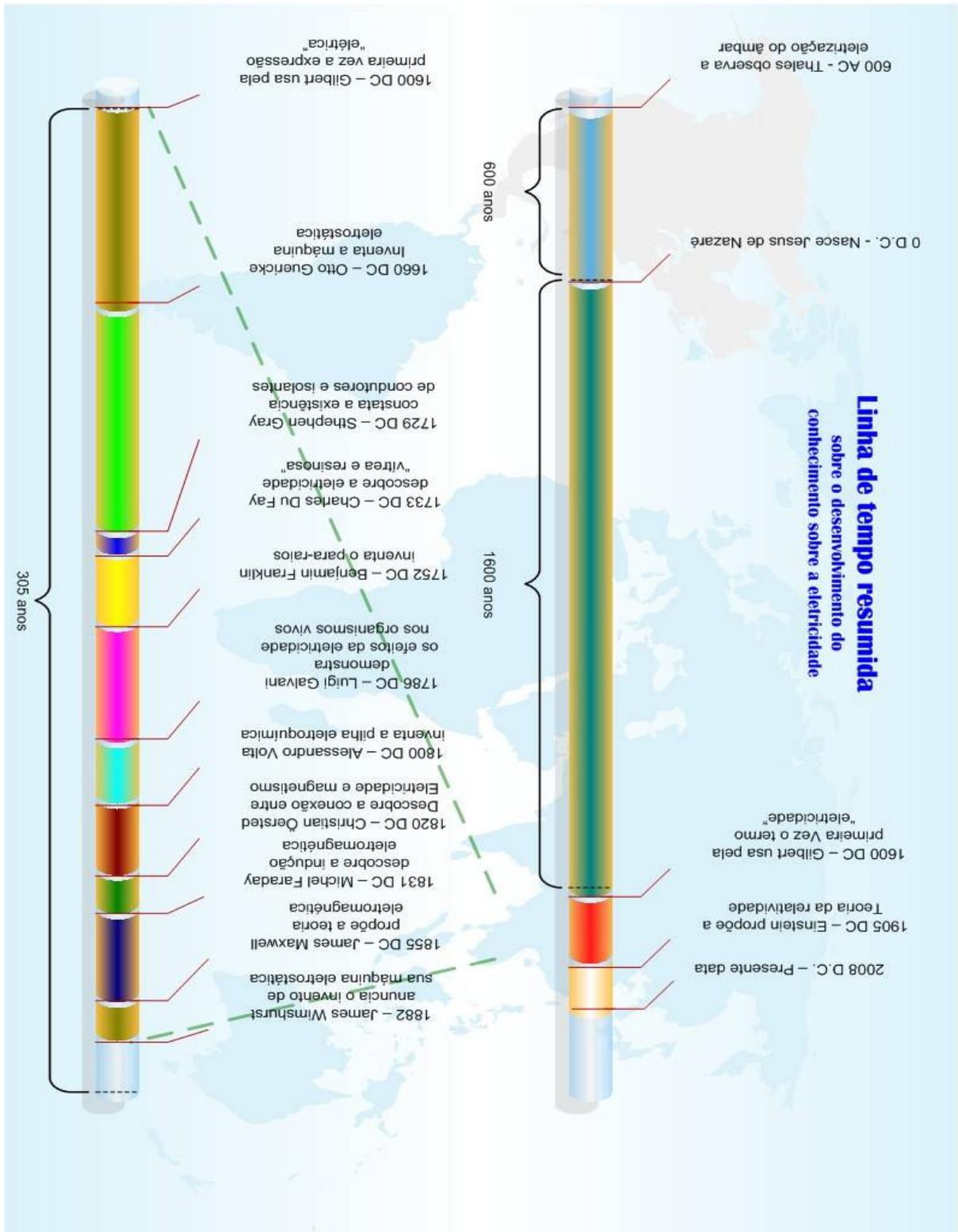
APÊNDICE A - ROTEIRO DA ENTREVISTA COM O PROFESSOR

Professor, agora que pudemos aproveitar o espaço que você nos ofereceu para realizar esta pesquisa com seus alunos, trazendo a eles a eletrostática vista a partir de seus aspectos históricos e experimentais, queremos pedir-lhe, como mais uma contribuição, responder à entrevista que será roteirizada pelas perguntas abaixo, de forma a permitir-nos conhecer sua opinião sobre o trabalho que realizamos.

1. Que mudanças, sob o aspecto motivacional, foram observadas nos alunos no tocante ao seu interesse pela disciplina de Física, perante a metodologia usada?
2. Em que medida a abordagem adotada, que tratou de apresentar a eletrostática sob três diferentes pontos de vista – histórico, tecnológico e científico, mostrou-se eficiente na formação de opinião e agregou efetivamente conhecimento aos alunos?
3. O emprego de materiais comuns em experimentos simples e interessantes foi proposto com o objetivo de verificar se esta técnica é adequada para motivar e chamar a atenção dos alunos. Que resultados motivacionais você observou nos alunos a partir das atividades experimentais?
4. De que forma o tema e a metodologia que foram empregados se prestam para a realização de atividades interdisciplinares no âmbito escolar ou comunitário? Como isto poderia ser feito?
5. Do ponto de vista prático, que dificuldades você poderia encontrar para implementar uma ação semelhante que envolvesse outros conteúdos da Física?
6. De que forma a metodologia e o conteúdo abordados podem contribuir para a elaboração, por parte dos alunos, de uma percepção da Ciência como uma construção humana?
7. Que diferenças positivas (ou negativas) você percebeu entre a metodologia e as atividades realizadas e a aplicação de atividades experimentais que você normalmente utiliza?
8. Em termos de resultados educacionais, que alterações você considera úteis para que a interação que os alunos tiveram com as máquinas eletrostáticas contribua para a melhoria do processo de ensino-aprendizagem em Física?

9. Qual a sua opinião geral sobre a proposta de trabalho que implementamos, considerando a sua experiência cotidiana com estes alunos?

APÊNDICE B – LINHA DE TEMPO COM AS PRINCIPAIS DESCOBERTAS SOBRE A ELETRICIDADE E ELETROMAGNETISMO



APÊNDICE C – GUIA PARA A ATIVIDADE EXPERIMENTAL

Caro aluno,

Junto a esta folha você e seu grupo de colegas estão recebendo um conjunto de itens para duas atividades experimentais, composto por um disco de vinil, um eletróforo de disco, um pedaço de couro e pedaços de papel picado.

As seguintes atividades devem ser realizadas:

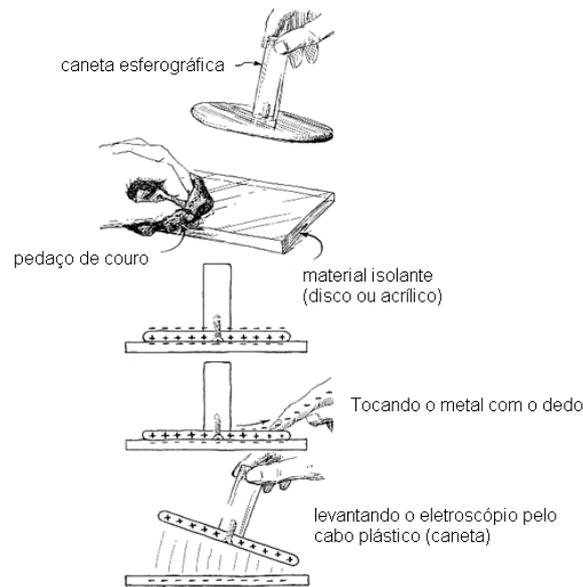
1) A primeira atividade consiste em observar a eletrização do disco de vinil. Esfregue o pedaço de couro que você recebeu no disco, e em seguida aproxime o disco dos pedaços de papel. Discuta entre seu grupo o que você observa, procurando encontrar respostas às seguintes questões:

- O que acontece com os papéis?
- Por que isto acontece?
- Você consegue imaginar uma forma de construir um dispositivo capaz de realizar este trabalho (atritar o couro no disco) ao invés de esfregá-lo com a mão?

2) A segunda atividade consiste em colocar sobre o disco de vinil, previamente eletrizado com o couro, o eletróforo, segurando-o pelo cabo de plástico (caneta esferográfica). Separar em seguida o eletróforo do disco de acetato, tomando o cuidado de não encostar o dedo na parte metálica do eletróforo em nenhum momento, e aproximar dos pedacinhos de papel.

- Você observa alguma atração exercida pelo prato metálico sobre os papéis?
- Por que será que isto não ocorre?

Em seguida repita a operação anterior, mas agora, enquanto o metal do eletróforo estiver sobre o disco, toque-o momentaneamente com o dedo, e em seguida afaste-o do disco.



- Novamente aproximando o eletróforo dos pedacinhos de papel, o que você observa?
- Qual pode ser a causa da diferença de comportamento dos pedaços de papel?

Repita algumas vezes esta operação, sem, todavia, esfregar novamente o disco. Observe que o eletróforo se carrega várias vezes sem a necessidade de atritar o disco novamente. Por esta razão Volta chamou-o de “Eletróforo perpétuo”. Como você já deve saber, a energia não aparece do nada. Como então você explicaria as muitas vezes que o eletróforo pode ser carregado? De onde sai a energia necessária para carregar o eletróforo?

Procure identificar o processo de eletrização – atrito e indução e entender seu funcionamento.

Você consegue imaginar uma forma de carregar o eletroscópio sem a necessidade de colocar e tirar o dedo do prato metálico, fazendo isto de forma mecânica?