CEFET/RJ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

CURSO DE ELETROMAGNETISMO PARA O ENSINO MÉDIO

Rodrigo Caetano

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência, Tecnologia e Educação, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre

Orientadora:
Tereza Maria Rolo Fachada Levy Cardoso

Rio de Janeiro
Maio de 2016

CURSO DE ELETROMAGNETISMO PARA O ENSINO MÉDIO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência, Tencologia e Educação do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de mestre.

Rodrigo Caetano

Aprovada por:

_____

Presidente, Profa. Tereza Maria Rolo Fachada Levy Cardoso

_____

Prof. Marcus Vinícius Pereira (IFRJ)

_____

Profa. Maria Renilda Nery Barreto (CEFET-RJ)

Rio de Janeiro
Maio de 2016

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

C128 Caetano, Rodrigo
Curso de eletromagnetismo para o ensino médio / Rodrigo Caetano.—2016.
x, 80f. : il. (algumas color.) , grafs. , tabs. ; enc.

Dissertação (Mestrado) Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca , 2016.
Bibliografia : f. 77-80
Orientadora : Tereza Maria Rolo Fachada Levy Cardoso

1. Eletromagnetismo. 2. Física (Ensino médio) – Estudo e ensino. I. Cardoso, Tereza Maria Rolo Fachada Levy (Orient.). II. Título.

CDD 537

Agradecimentos

A professora e orientadora, Tereza Fachada, cuja dedicação e contribuição para esse trabalho se mostrou algo que não pode ser medido. Obrigado pela paciência, carinho e por ter se tornado um grande exemplo para mim.

A minha mãe, Elzi da Paz de Souza Medeiros, por ser uma mãe zelosa, amorosa e por suportar todas as “maluquices” de um filho “sem noção”.

Ao meu pai, Lúcio Pereira Caetano, que partiu no ano de 2005 e infelizmente não pode me acompanhar nesse momento em que subo mais um degrau na minha vida. Tenho certeza do seu orgulho, onde quer que ele esteja.

Ao meu amigo, Wagner Tadeu Jardim, exemplo de pessoa e profissional, que sempre me incentivou e foi o primeiro a me falar sobre o mestrado no CEFET.

Ao meu amigo, Pedro Cunha Amaral, que desde os tempos da faculdade sempre me animava para pegar firme nos estudos e me dedicar mais, e que fez a tradução do resumo.

Aos meus amigos Weiller, Vinícius e Suellen, pelas conversas animadas e engraçadas durante o café da manhã, na pensão do Ricardo e do Zé no primeiro trimestre do mestrado, e por estarem ao meu lado quando ingressei no PPCTE.

Aos amigos que fiz durante a pós-graduação, principalmente aos mineiros, Clárice, Marlon e Thiago Peron.

Aos professores Alvaro Chrispino, Andréia Guerra, Marco Braga, Renilda e Sheila, por terem contribuído para minha formação.

Aos responsáveis pelo museu da Energisa, Marquinhos e Patrícia, por terem cedido o espaço para as visitações.

A Capes e ao CEFET-RJ pela bolsa e aporte financeiro.

Enfim, a todas as pessoas que passaram pela minha vida e que contribuíram para a minha construção como pessoa.

RESUMO

CURSO DE ELETROMAGNETISMO PARA O ENSINO MÉDIO

Rodrigo Caetano

Orientadora: Tereza Maria Rolo Fachada Levy Cardoso

Resumo da Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

Este trabalho apresenta um curso de eletromagnetismo, elaborado para uma turma de terceiro ano do ensino médio de uma escola da rede privada, cujo enfoque principal é a preparação para o vestibular e o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM). O colégio está localizado na cidade mineira de Cataguases, sede da companhia de eletricidade Energisa. A empresa mantém no município um museu sobre a sua história e da eletricidade, aberto a visitação escolar. Dessa forma, o curso foi criado para abordar tópicos em torno da história da Teoria Eletromagnética e do desenvolvimento das suas ideias e conceitos e de atividades em espaço não-formal, o museu, acompanhando a ementa da apostila e o cronograma que deve ser seguido pelo professor, com o objetivo de facilitar a aprendizagem de Física, conforme observações e sugestões feitas pelos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN's). Para avaliação do desempenho dos alunos, aplicou-se um questionário de sondagem pré e pós, ao mesmo tempo em que as notas nas avaliações regulares da instituição foram utilizados. A classe mostrou uma melhora de performance, entretanto, o mais significativo foi o aumento do interesse e da participação dos alunos na disciplina.

Palavras-chave:

Eletromagnetismo; Ensino de Física; Espaços não-formais de educação

Rio de Janeiro
Maio de 2016

ABSTRACT

ELECTROMAGNETISM COURSE FOR HIGH SCHOOL

Rodrigo Caetano

Advisor: Tereza Maria Rolo Fachada Levy Cardoso

Abstract of dissertation submitted to Programa de Pós-graduação em Ciência, Tecnologia e Educação -Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, as partial requirement for the Master's degree.

This work presents an electromagnetism course, prepared for a high school's third year class in a private school, which the main focus is the vestibular preparation and the High School National Exam (ENEM). The school is located in Cataguases, Energisa Electricity Company's head office. The company maintains a museum about its history and electricity's, open to school visits. Thus, the course is designed to address topics around the Electromagnetic Theory history and its ideas developments, concepts and activities in a non-formal space, the museum, following the workbook subject sequency and the teacher's schedule, in order to facilitate the physics learning process, as commented and suggested by the National Curriculum Parameters (PCN's). For the student's performance evaluation, it was applied a pre and post survey, while using the regular institution's evaluation grades. The class showed a performance improvement, however, the most significant was the increased interest and participation of students in the course.

Keywords:
Electromagnetism, Physics Education, Non-formal Educational Space

Rio de Janeiro
May 2016

SUMÁRIO

Introdução **1**

I Cataguases **9**

I.1 Da lavoura de café ao processo de industrialização: a criação da CFTC 9
I.1.1 Inauguração da CFTC 11
I.2 Força e Luz Cataguases-Leopoldina 12
I.3 Industrialização, Educação e Cultura 14

II Desenvolvimento do Eletromagnetismo **16**

II.1 Dos estudos do efeito âmbar ao "*De Magnete"* 16
II.2 A geração de eletricidade, o fluído elétrico e a formulação matemática da Lei de Coulomb 19
II.3 Linhas de Força e o Princípio de Indução de Faraday 23

III Diários de Campo **28**

III.1 Aula 1 28
III.2 Aula 2 29
III.3 Aula 3 31
III.4 Aula 4 32
III.5 Aula 5 35
III.6 Aula 6 40
III.7 Aula 7 42
III.8 Aula 8 44
III.9 Aula 9 46
III.10 Aula 10 49

IV Resultados **51**

IV.1 Pré e pós-teste 52
IV.2 Questão aberta do questionário de sondagem 56
IV.3 Testes 59
IV.4 Questionário de Sondagem (Pré e Pós) 63
IV.5 "Testinhos" 66
IV.6 Simulado 70

Conclusão **73**

Referências bibliográficas **77**

Lista de Figuras

FIG. I.1: Prédio CFTC em 1906 11
FIG. I.2: Fotografia de Manoel Ignácio Peixoto 12
FIG. I.3: Prédio de máquinas da Usina Maurício em 1908 13
FIG. II.1: Fotografia de William Gilbert 17
FIG. II.2: Ilustração do experimento feito por Gilbert 18
FIG. II.3: Linha do Tempo do desenvolvimento da Teoria Eletromagnética 19
FIG. II.4: Garrafa de Leyden sendo carregada por um gerador eletrostático 21
FIG. II.5: Balança de Torção 22
FIG. II.6: Fotográfia de Michael Faraday 23
FIG. II.7: Linhas de campo entre duas cargas pontuais 24
FIG. II.8: Uso das linhas 25
FIG. II.9: Pilha de Volta 26
FIG. II.10: Ilustração de um Dínamo 27
FIG. III.1: Simulação do PHET - Balões e Eletricidade Estática 29
FIG. III.2: Exercício Apostila 33
FIG. III.3: Exercício Apostila 33
FIG. III.4: Exercício Apostila 34
FIG. III.5: Exercício Apostila 34
FIG. III.6: Placa localizada no teto da casa de máquinas de Marmelos Zero 37
FIG. III.7: Vestibular FUVEST-2016 40
FIG. III.8: Exercício da Apostila 41
FIG. III.9: Exercício da Apostila 42
FIG. III.10: Analogia entre os campos gravitacional e elétrico 44
FIG. III.11: Imagem utilizada no slide. 45
FIG. III.12: Simulação Phet - Cargas e campos 46
FIG. III.13: Imagem do slide 47
FIG III.14: Gráfico do Campo Elétrico em função da distância 47
FIG. III.15: Imagem usada nos slides 48
FIG. III. 16: Enunciado de Exercício da Apostila 48
FIG. IV.1: Questão aberta do questionário de sondagem 52
FIG. IV.2: Questão quatro questionário de sondagem 53
FIG. IV.3: Questão 5 questionário de sondagem 54
FIG. IV.4: Questão 3 do teste de Eletrização e Lei de Coulomb 62
FIG. IV.5: Questão 3 teste de Campo Elétrico 62

Lista de Tabelas

TAB. IV.1: Resultado do Pré-teste (Múltipla Escolha) 55
TAB. IV.2: Resultado do pós-teste (Múltipla Escolha) 55
TAB. IV.3: Resultado Pré-teste 57
TAB. IV.4: Resultado Pré-teste (Porcentual) 57
TAB. IV.5: Resultado pós-teste 58
TAB. IV.6: Resultado pós-teste (porcentual) 58
TAB. IV.7: Resultados dos Testes 59
TAB. IV.8: Resultados dos Testes (Valor em Porcentagem) 59

Lista de Gráficos

GRÁF. IV.1: Resultados do pré e do pós-teste 55
GRÁF. IV.2: Comparação dos resultados do pré e pós-teste - Letra A 56
GRAF. IV.3: Comparação dos resultados do pré e pós-teste - Letra B 56
GRAF. IV.4: Resultado pré-teste - letra A 57
GRAF. IV.5: Resultado pré-teste - Letra B 57
GRAF. IV.6: Resultado pós-teste - Letra A 58
GRAF. IV.7: Resultado pós-teste - Letra B 58
GRAF. IV.8: Resultados do Primeiro e do Segundo Teste 60

Introdução

A visão negativa a respeito da Física, facilmente observada, empiricamente, pelos professores em sala de aula, pode ser explicada pela complexidade dos seus conceitos, e pelos alunos entenderem que ela serve apenas para a resolução de exercícios e a memorização de várias fórmulas desprovidas de significado (NASCIMENTO, 2007). Observa-se que professores costumam fazer uso de métodos como músicas e trocadilhos para ensinar o aluno a decorar determinada equação. Isso faz com que a aula fique menos monótona, por aproximar o professor (a), da turma, mas não garante que o aluno veja a Física como uma produção cultural, que passou por um processo de aprimoramento de suas ideias e acompanhou as transformações sociais ao longo da história da humanidade. Ou seja, uma ciência que na realidade é provida de significados que se traduzem numa forma de conhecimento tão importante como a arte, por exemplo, e que contribui para a cidadania e uma cultura científica, conforme é previsto nos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio, o PCN e o PCN+:

> *"Espera-se que o ensino de Física, na escola média, contribua para a formação de uma cultura científica efetiva, que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação. Para tanto, é essencial que o conhecimento físico seja explicitado como um processo histórico, objeto de contínua transformação e associado às outras formas de expressão e produção humanas".* (BRASIL, 2009, pág. 22)

Outro fator preponderante para a falta de estímulo dos estudantes em relação à Física é a organização da própria escola. O docente é obrigado a cumprir o conteúdo da apostila ou livro didático de toda matéria cobrada nos tradicionais vestibulares e no Exame Nacional de Ensino Médio (ENEM), por causa do Sistema de Seleção Unificada (SISU). Entretanto, isso não pode servir como barreira para o desenvolvimento de um trabalho que alcance os objetivos citados acima, estipulados nos parâmetros curriculares. Portanto, conhecer a escola e contextualizar o ensino, trazendo-o para próximo da rotina diária dos alunos, aliado ao conteúdo que se encontra na ementa, permitirá elaborar uma metodologia de trabalho mais interessante.

> *"Uma Física cujo significado o aluno possa perceber no momento em que aprende, e não em um momento posterior ao aprendizado. [...] Para isso, é imprescindível considerar o mundo vivencial dos alunos, sua realidade próxima ou distante, os objetos e fenômenos com que*

> *efetivamente lidam ou os problemas e indagações que movem sua curiosidade."* (BRASIL, 2009, pág. 23)

Para alcançar essas finalidades, de uma educação científica e democrática, a utilização de espaços não-formais de educação, como museus, por exemplo, é de suma importância, e não apenas para complementar os assuntos discutidos dentro da sala de aula. A definição de "espaço não-formal" neste trabalho - apesar de não haver um consenso sobre a definição de "espaço não-formal" - refere-se a ambientes como museus e centros de ciências, onde podem-se desenvolver atividades educativas, enquanto que o espaço escolar é definido como um ambiente formal de educação (JACOBUCCI, 2008).

O sociólogo português Afonso (1992 *apud* Menezes, 2010, p.20) observa que:

> *"Educação formal: tipo de educação organizada com uma determinada sequência e proporcionada pelas escolas;*
>
> *Educação informal: abrange todas as possibilidades educativas no decurso da vida do indivíduo, constituindo um processo permanente e não organizado;*
>
> *Educação não-formal: também tem uma estrutura e a uma organização (distintas, porém, das escolas) e pode levar a uma certificação (mesmo que não seja essa a finalidade), diverge da educação formal quanto à não fixação de tempos e locais e à flexibilidade na adaptação dos conteúdos de aprendizagem a cada grupo concreto"*

A visita a esses locais coloca os alunos mais próximos a uma realidade de ciência e tecnologia que não é de domínio exclusivo dos cientistas, mostrando que a ciência, como a tecnologia, são produções culturais importantes, facilitando o acesso a quem tem interesse por esses dois campos (MENEZES, 2010).

Visitar uma exposição ou uma feira sobre ciências e tecnologia expõe o aluno a modelos científicos e propicia a interação com os artefatos tecnológicos do passado que foram substituídos por novos, por conta de fatores, por exemplo, como economia de energia e praticidade, demonstrando, assim, o diálogo entre elementos sociais e tecnocientíficos. Logo, ao guiar um grupo de discentes em visitação a esses ambientes, espera-se estimular e potencializar a imaginação e a criatividade deles, promover discussões sobre o fazer científico e tecnológico, sendo imprescindível para uma aprendizagem em ciências mais significativa (ELIAS; AMARAL; MATSUURA, 2005).

A Física não deve ficar isolada, como se não tivesse relação com as demais disciplinas ministradas, especialmente as que são do corpo das ciências humanas. Atividades em espaços não-formais e formais necessitam do uso de conceitos

interdisciplinares[1] que garantam a integração entre campos de conhecimentos distintos (SILVA; CHAVES, 2005). É importante que o educando consiga estabelecer conexões entre essas diversas áreas do saber, objetivando uma alfabetização tecnocientífica e atingindo as metas estipuladas pelos PCN's para o ensino de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, entendendo a ciência num todo, não sendo apenas um corpo de "verdades absolutas" e "infalíveis", mas de paradigmas que podem ser modificados (MENEZES, 2010).

Nesse sentido, observando todos os pontos colocados anteriormente para uma educação em ciências de qualidade, o trabalho propõe uma atividade que envolva História da Física, especificamente do Eletromagnetismo, com uma turma de terceiro ano do ensino médio com 35 alunos de uma escola particular localizada no município mineiro de Cataguases, pertencente a uma rede de ensino com unidades entre cidades da região da Zona da Mata; incrementando o conteúdo e adequando as aulas à proposta pedagógica do colégio, que trabalha com material didático próprio na forma de apostilas, as quais indicam o conteúdo que deverá ser dado em cada aula, numa espécie de cronograma.

A escola tem como principal foco o ENEM e outros vestibulares de universidades e institutos federais próximos, como a Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), a Universidade Federal de Viçosa (UFV) e o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais (IFSUDESTE-MG). Os alunos que ingressam desde a primeira série estudam todo o conteúdo do ensino médio nos dois primeiros anos, e no terceiro a escola oferece um programa voltado para a revisão de toda a matéria.

O município de Cataguases, localizado na Zona da Mata mineira, é sede da Energisa, importante empresa do ramo energético que opera em vários estados do Brasil, e mantém na cidade um museu interativo sobre sua história e a da eletricidade, fator que motivou a escolha de uma proposta de trabalho em torno da História do Eletromagnetismo, da cidade e de educação científica em espaços não-formais.

A empresa foi inaugurada em 1906, com o nome de Força e Luz Cataguases-Leopoldina, por iniciativa de empresários locais, que um ano antes, 1905, haviam criado uma fábrica de tecidos, a Companhia Fiação e Tecelagem de Cataguases, atual Companhia Industrial de Cataguases. Na época, os donos da indústria têxtil procuravam por uma fonte de energia que possibilitasse o aumento da manufatura e substituísse os teares movidos a vapor, álcool e petróleo. Com a eletricidade, novos

[1] O conceito de interdisciplinaridade citado aqui é o mesmo que se apresenta no PCN+: Explicitamente, disciplinas da área de linguagens e códigos e da área de ciências da natureza e matemática devem também tratar de aspectos históricogeográficos e culturais, ingredientes da área humanista, e, vice-versa, as ciências humanas devem também tratar de aspectos científico-tecnológicos e das linguagens. (BRASIL, 2009, pág. 16)

teares vieram da Inglaterra e a fábrica conseguiu o seu objetivo: maximizar sua produção utilizando uma fonte de energia mais eficiente.

Conhecendo o ambiente escolar, a história de Cataguases e o conteúdo que deverá ser trabalhado, foi montado um curso sobre Eletromagnetismo, com tópicos de História da Física seguindo um viés interdisciplinar. Todas as atividades aconteceram durante o período regular de aula, e em algumas tardes destinadas à monitoria, inclusive a visita ao museu, para evitar qualquer possível atraso do cronograma pré-estabelecido pela instituição. Buscou-se analisar a aprendizagem dos alunos sobre os conceitos teóricos, que são exigidos nos processos seletivos para acesso ao ensino superior e nas provas escolares, como também, o desenvolvimento de uma cultura científica, conforme estabelecem os parâmetros curriculares através do lado social e histórico da ciência.

2. Justificativa

Numa sociedade inserida em um contexto de grande produção cientifica e tecnológica, compreender o processo de funcionamento da Ciência e da Tecnologia e como elas interagem com as demandas sociais, permitirá que as futuras gerações participem de forma democrática do processo de tomada de decisões. Portanto, o trabalho desenvolvido ainda na educação básica em torno das Ciências da Natureza e das suas Tecnologias deve propiciar as condições necessárias para que ocorra uma alfabetização científica (GIL-PÉREZ; PRAIA; VILCHES, 2007).

Tomando o cuidado de não falar de uma *pseudo-história* na sala de aula, ou seja, descontextualizada, a narrativa de acontecimentos históricos e o tratamento epistemológico da Física tem o potencial para uma educação que garanta, segundo FORATO; MARTINS; PIETROCOLA (2011), a participação cidadã desses indivíduos, pois mesmo que não venham a empreender uma carreira ligada à Ciência e à Tecnologia na sequência do ensino médio, eles teriam plenas condições de exercer o seu papel de cidadãos. Logo, aliar conceitos de Eletromagnetismo e a história do desenvolvimento urbano da cidade e da região desses alunos, intimamente ligado ao crescimento da Companhia Força e Luz, contribuirá com a visão desse tipo de alfabetização.

Contudo, a História da Ciência é apresentada, nos manuais didáticos, em seções de rodapé ou em notas organizadas no final de um capítulo, geralmente relacionando nomes e datas a certa descoberta científica ou experimento histórico, numa descrição linear e rasa de fatos que não contribuem para uma visão correta acerca do empreendimento científico (VIDAL; PORTO, 2012).

Os livros de Física no Brasil, mesmo tendo passado por uma modernização, realçam a Física como uma atividade empírico-indutivista sem mostrar a variedade de métodos e diferenças na construção do saber científico ao longo da história (PEREIRA, 2007).

Para BRAGA; GUERRA; REIS (2008), essa característica dos livros de ciências brasileiros usados na educação básica é uma influência direta da reformulação nos manuais utilizados nas escolas politécnicas francesas do século XIX, nos quais a metafísica foi banida e a Ciência passou a ser vista apenas pelo seu caráter prático e empirista, concepção denominada pelos autores de “dogmático-instrumental do Ensino de Física”.

O grupo de alunos que faz parte da presente pesquisa tem acesso à internet e o costume de assistir videoaulas para estudar em casa, ou seja, eles possuem acesso à informação e buscam por ela sem o auxílio do professor para tirar dúvidas que o material da escola não consegue esclarecer. Dessa forma, ficar restrito apenas ao conteúdo descrito das apostilas contribui para uma visão limitada do fazer e saber científico, motivando assim, a busca por uma metodologia de trabalho diferente, mas que se adeque a escola.

Como não há uma “formula mágica” para alcançar esse objetivo, compartilhar a experiência de adequação do conteúdo num sistema rígido de uma escola tradicional, com material próprio em formatos de apostila, com a História da Física e da cidade de Cataguases, utilizando o museu da Energisa, pode ser um caminho para inspirar outros professores a buscarem formas de trabalhar essa importante disciplina, conforme a sua realidade e estrutura do seu local de trabalho, aumentando o interesse dos alunos e motivando-os em relação à Física e ao ambiente escolar também.

3. Problema

Dentro de um sistema rígido de ensino, no qual é exigido do professor cumprir uma série de conteúdos tendo como preocupação o vestibular, buscar alternativas e metodologias de trabalho para melhora do aprendizado e do interesse dos alunos pela Física se torna um desafio. Portanto, essa proposta de trabalho, adequada à realidade da escola e dos próprios alunos, busca através dos dados colhidos no questionário de sondagem, dos diários de campo, com o uso da História da Física e da cidade de Cataguases, responder a seguinte pergunta: Uma abordagem envolvendo tópicos sobre a História do Eletromagnetismo e o desenvolvimento de atividades em espaços não-formais, adaptados à rotina dessa escola e dos seus alunos de terceiro ano, contribui para a melhoria do aprendizado e do interesse dos alunos pelo tema?

4. Objetivos

O trabalho possui os seguintes objetivos: 1) Elaborar um curso sobre Eletromagnetismo conciliando o conteúdo previsto na ementa do colégio com a história do desenvolvimento da Teoria Eletromagnética; 2) Apresentar os principais conceitos desse campo da Física contextualizando-os com fatores socioculturais de cada período histórico; 3) Abordar a implantação do serviço de distribuição de eletricidade em Cataguases no início do século XX; 4) Analisar os resultados do questionário de sondagem e o desempenho da turma nas provas de Física realizadas quinzenalmente para avaliar a aprendizagem.

5. Fundamentação Teórica

As duas primeiras obras consultadas, após a escolha de Cataguases como recorte de pesquisa, que contavam a história da cidade, foram “Pequena História Sentimental de Cataguases” de RESENDE (1969) e “Cataguases Centenária”, de COSTA (1977). Sendo memórias sobre o munícipio, esses livros contribuíram com informações a respeito das mudanças ocorridas na cidade na virada do século XIX para o XX. As transferências de capital dos cafeicultores para a indústria têxtil, que motivaram a criação da companhia de eletricidade, despertaram o interesse por esse período de progresso tão singular para uma cidade do interior do Brasil. Consequentemente, conhecendo as instituições, principalmente a Energisa e o seu museu interativo, surgiu a ideia de conciliar o conteúdo a ser dado em sala, com o espaço e a possibilidade de se trabalhar numa perspectiva diferente, fora do ambiente escolar.

GASPAR (1993) e MENEZES (2010) usam como justificativa para a realização de atividades fora da escola, a capacidade desses espaços de garantirem o aprendizado, ao permitirem relações sociais entre monitores e alunos.

Os trabalhos de ELIAS *et al.* (2005), e de SILVA *et al.* (2005), também tratam da importância de espaços como museus e exposições para a educação, planejando a articulação entre o ambiente formal (escola) e o ambiente não formal (museu) para a aprendizagem, e serviram como estímulos para a apresentação dos conceitos sobre a História do Eletromagnetismo e como a geração de eletricidade contribuiu para o crescimento de Cataguases através da visita ao museu da Energisa.

Como parte dessa articulação, a história da Teoria Eletromagnética será acrescentada ao conteúdo presente no material didático a ser seguido de acordo com o cronograma da escola. Para isso, foram utilizados como fontes de pesquisa, uma

série de obras de autores como PIRES (2008), GUAYDIER (1984) e ROCHA (2002) e um livro paradidático da coleção “Ciência no Tempo” de BRAGA; GUERRA; REIS (2004), “Faraday e Maxwell - eletromagnetismo: da indução aos dínamos”. Enquanto a ideia de se fazer diários de campo, anotando comentários feitos pelos alunos, dúvidas apresentadas e atividades realizadas, foi inspirada no livro “História da Física na sala de aula” de Takimoto (2009).

A utilização do questionário como mecanismo de sondagem, no início e no final das atividades, para analisar o desempenho dos alunos, foi uma iniciativa baseada nas dissertações de PÓVOAS (2012) e MACIEL (2011), seguindo as recomendações da *International Training e Education Center for Health,* dos Estados Unidos. E como os alunos fazem provas de Física quinzenalmente, o desempenho nessas avaliações periódicas também foi utilizado para fins de pesquisa.

6. Metodologia

Foi montado um questionário de sondagem, aplicado no início e no final da pesquisa, para avaliar o desempenho dos alunos no curso. Foram feitos diários de campo sobre os tópicos abordados, das atividades feitas na sala de aula no período regular e nas aulas que ocorreram durante o horário de monitoria, além da visita ao museu, assim como dos comentários que os alunos fizeram e das dúvidas que demonstraram. Os diários permitem uma análise qualitativa do interesse da turma pela disciplina, já que o pré e o pós-teste, montados com questões de eletricidade tirados dos tradicionais vestibulares, fornecem elementos para uma dimensão quantitativa aos resultados da pesquisa.

As questões foram tiradas de provas para o processo de seleção de diferentes instituições de ensino superior, porque o terceiro ano do ensino médio da escola opera em regime intensivo e de revisão de toda a matéria do ensino médio trabalhada nas duas séries anteriores. Esse caminho escolhido atende à proposta da escola.

O curso completo foi composto de várias partes: questionário de sondagem (pré e pós), aulas expositivas sobre conteúdos de Eletricidade, Magnetismo e História do Eletromagnetismo (com auxílio de multimídia), realização de simulações computacionais com o *PHET*[2] e *gifs* animados para ilustrar os fenômenos ligados ao conteúdo, elaborando um diário de campo e de todas as atividades realizadas nos períodos regulares de aula e nas aulas extras, e atividade de campo, com visitação ao

[2] O *PHET* é um projeto da universidade do Colorado, que fornece uma série de simulações interativas sobre Matemática e Ciências. As simulações estão disponíveis no seguinte endereço: https://phet.colorado.edu/pt_BR/. Acessado em: 12 de fevereiro de 2016.

Museu da Energisa, para uma aula interdisciplinar que abordou tanto o processo de indução e geração de corrente como toda a legislação ambiental e o processo de operação de uma usina hidroelétrica, além de um contato com a história da empresa e do desenvolvimento da cidade de Cataguases.

Do ponto de vista histórico-científico, o curso partiu dos estudos feitos sobre a eletricidade na Antiguidade Clássica até as contribuições de Michael Faraday, e os diálogos entre a história e o desenvolvimento de modelos científicos dentro dos seus devidos contextos socioculturais.

No primeiro capítulo será contada a história de Cataguases de forma breve, dos primeiros anos do século XX, marcados pelo grande desenvolvimento e mudanças no cenário urbano que foram causados pela implantação da indústria têxtil e da criação da Força e Luz, para situar melhor o leitor a respeito do ambiente de pesquisa.

O segundo abordará a história e o desenvolvimento das teorias do Eletromagnetismo.

No terceiro capítulo, apresentam-se os diários de campo, resultado da observação do professor sobre todo o processo da pesquisa, desde a construção do curso até a avaliação final.

No quarto, os dados colhidos nas sondagens feitas no início e no final do curso, e do aproveitamento dos alunos nos testes que ocorrem a cada quinze dias, de acordo com o calendário da escola, serão apresentados na forma de tabelas e gráficos, juntamente com a sua devida análise e as provas em anexo: sondagem, “testinhos” e o simulado da rede de ensino.

Por fim, a conclusão.

Capítulo I - Cataguases

O município de Cataguases está localizado na mesorregião da Zona da Mata do estado de Minas Gerais. A cidade é reconhecida pelo seu patrimônio artístico e cultural, com inúmeros prédios de arquitetura modernista tombados pelo Instituto do Patrimônio Artístico e Nacional (IPHAN) na década de 1990. Entre eles, estão o Colégio de Cataguases e o Hotel de Cataguases, ambos projetados pelo arquiteto Oscar Niemeyer.

Todo esse patrimônio cultural é herança de um período de progresso e desenvolvimento vividos pela cidade nos quarenta primeiros anos do século vinte. Com a criação da indústria do setor têxtil - a Companhia Fiação e Tecelagem de Cataguases (CFTC), em 1905 , e da própria Força e Luz Cataguases-Leopoldina no ano seguinte, para suprir a demanda energética do maquinário da manufatura de tecidos -, a cidade experimentou um forte momento de crescimento, e isso refletiu inclusive na literatura dos *Verdes*; grupo modernista local que publicava os seus textos em uma revista homônima entre os anos de 1927 e 1929, cuja essência do movimento foi a crise de identidade nacional[3] (SAN'TANA, 2005).

Mas, para entender o surgimento da manufatura em Cataguases e do serviço de eletricidade, se faz necessário conhecer o cenário anterior a esse processo. Nota-se uma série de variáveis, como a economia cafeeira e as medidas do governo federal para fomentar a industrialização do país, além da necessidade de procurar outras formas de energia para movimentar o maquinário e que substituíram recursos fósseis, o que culminou na criação da Força e Luz.

I.1 Da lavoura de café ao processo de industrialização: a criação da CFTC

O século XX foi marcado por intensos acontecimentos, como as duas grandes guerras mundiais que abalaram as estruturas do mundo inteiro. Esses conflitos bélicos na Europa desestabilizaram a produção internacional e prejudicaram diretamente as fontes de abastecimento de um Brasil bastante dependente de produtos importados. Perante esse quadro, o governo brasileiro passou a incentivar ainda mais o desenvolvimento da indústria nacional para atender o mercado interno.

Para PRADO JUNIOR (1998), o desenvolvimento industrial ocorreu também pela chegada de imigrantes europeus, que vieram para suprir a carência de mão de

[3] Essa crise ocorre nos primeiros anos da república, promulgada em 1889, e a necessidade de certos grupos em responder a questão da identidade nacional e da construção da brasilidade. Há um rompimento com o paradigma civilizatório europeu, e as novas produções literárias e artísticas destacam o cotidiano dos centros urbanos e a imagem do cidadão comum, como é o caso do boêmio carioca nas produções dos grupos do Rio de Janeiro (TELES, 2002).

obra por conta da abolição, em 1888. Os estabelecimentos fabris existentes eram de caráter local. Estabelecimentos tidos como mais modernos para aquele tempo eram poucos e, de acordo com SINGER (2004), os demais se resumiam a pequenos estabelecimentos fabris artesanais, produtores de alimentos, objetos de vestuário, velas, móveis.

É nesse cenário de mudança na sociedade brasileira entre os séculos XIX e XX, que as indústrias locais existentes e, especificamente o setor têxtil, ganharam força. Até aquele instante, o Brasil era um país que priorizava a produção e exportação de café, de onde, inclusive, veio boa parte do capital necessário para que a industrialização se desenvolvesse.

Essa ideia fica clara quando STELLING (2003) descreve a tênue relação dos fatores internacionais e os altos tributos cobrados sobre os tecidos finos ingleses. Para ele, uma indústria têxtil primitiva foi inicialmente estimulada para a produção de tecidos grosseiros de vestuários para os escravos. Uma faixa marginal da sociedade na qual o mercado externo estaria pouco interessado. Na conjuntura cataguasense, SILVA (2009) descreve o seguinte panorama.

> *"A lavoura cafeeira em meados do século XIX impulsionou o desenvolvimento socioeconômico da região. Os latifundiários passaram a ter domínio da vida econômica, politica e social, fazendo com que surgisse uma nova classe de empresários urbanos, formada pela demanda de produtos de manufaturas: cervejaria, de massas alimentícias, de balas e bombons, de biscoito, de vassoura, de sabão, de baús de folha, assim como sapateiros e uma insipiente indústria em seus primórdios [...] Isto fez com que parte do crescimento urbano tivesse como opção de desenvolvimento o setor industrial têxtil".* (SILVA, 2009, pág. 21)

Portanto, de modo análogo ao restante do país, a elite cafeeira de Cataguases ampliou o seu foco para a indústria. Uma forte atividade urbana passou a tomar conta da cidade, que já no início do século XX contava com alguns serviços básicos como: rede de esgoto e água potável (1892); Correios (1872); e uma linha férrea que ia até o Rio de Janeiro, gerida pela companhia The Leopoldina Raiway Company (1877). Essa infraestrutura pré-existente contribuiu para o começo da industrialização em Cataguases.

I.1.1 Inauguração da CFTC

No mês de fevereiro de 1905, foi organizada em Cataguases uma parceria entre os Srs. Noberto Custódio Ferreira, João Duarte Ferreira, Joaquim Gomes de Araújo e Maurício Eugênio Murgel em forma de sociedade anônima, “A Companhia Fiação e Tecelagem de Cataguases”. Com um capital inicial de duzentos contos de réis, inicia-se a construção do prédio da CFTC, inaugurada um ano depois, 1906 (COSTA, 1977).



Figura I.1: Prédio CFTC em 1906[4]

Os primeiros teares vieram da Inglaterra importados da firma *Butterwortter & Delmisen*, e eram alimentados pelo vapor gerado pela queima de petróleo e álcool. Devido a essa diversidade de fontes, dois dos quatro acionistas da CFTC, João Duarte e Noberto Custódio, se uniram ao leopoldinense José Monteiro Ribeiro Junqueira e, juntos, os três fundaram a companhia de eletricidade Força e Luz. Por conta do serviço de eletricidade, o motor antigo foi substituído por um novo com uma potência de 20 Hp, enquanto o anterior era de 8 Hp.

Em 1910, a CFTC sofre com a crise do algodão. O preço da matéria prima aumentou ao mesmo tempo em que o produto se tornou escasso no mercado, e isso resultou em mudanças na diretoria da empresa, culminando com a saída do Diretor-Tesoureiro e cofundador, Maurício Mugel. Uma nota foi divulgada no Jornal “O Cataguases[5]” na data de 19 de junho do mesmo ano, explicando as razões da sua saída, na qual ele citava os problemas conjecturais e a sua mudança para Salvador, onde ocuparia um posto na recém-criada agência do Banco do Brasil na capital baiana (COSTA, 1977).

---

[4] Imagem disponível em: http://www.cataguases.com.br/Pagina.aspx?14. Acessado em: 08 de maio de 2016.

[5] O jornal “O Cataguases” é um periódico que existe até os dias de hoje e que pertence ao Órgão Oficial dos Poderes Municipais de Cataguases.

Um ano depois, o controle acionário da firma passa para o imigrante português dos Açores, Manuel Ignácio Peixoto. Além da reformulação e organização, o novo acionista principal muda a denominação da empresa para *M. Ignácio Peixoto*. Em 1913, o nome muda mais uma vez, agora para *M. Ignácio Peixoto & Filhos.* Com o seu falecimento (1917), a empresa transformou-se em *Irmãos Peixoto & Cia*. Na década de trinta, a manufatura se tornou uma indústria de capital aberto e passou a operar em regime de sociedade anônima, *Irmãos Peixoto S.A.*.

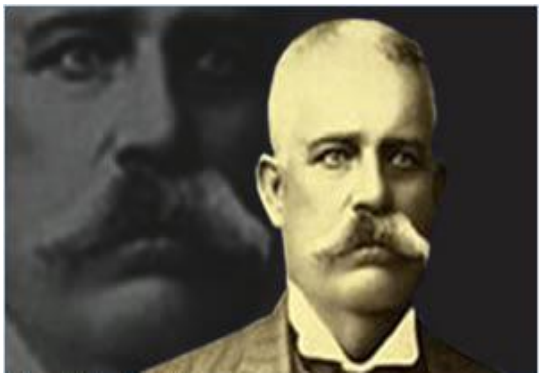


Figura I.2: Fotografia de Manoel Ignácio Peixoto[6]

Após uma série de mudanças no nome e na direção da firma, em 1936, o empresário pernambucano Severino Pereira da Silva, adquire a *Irmãos Peixoto S.A.*, depois de já ter adquirido a fábrica *Tecidos Aliança*, localizada no bairro de Laranjeiras no Rio de Janeiro. A presença da família Peixoto na fábrica conta com o filho de Manuel Inácio, José Inácio Peixoto, no cargo de Diretor-Gerente. Um novo prédio é erguido após a aquisição, e a firma passa a operar a partir de 1937, como *Companhia Industrial Cataguases*, empreendimento que existe até os dias de hoje na cidade.

I.2 Força e Luz Cataguases-Leopoldina

Como citado na seção anterior, a criação de uma companhia para produção e distribuição de energia elétrica, surgiu por intermédio de uma parceria entre empresários de Cataguases e Leopoldina, duas cidades distantes cerca de 20 km uma da outra.

Antes mesmo de inaugurar a sua primeira usina hidrelétrica, a *Usina Maurício*, localizada no município vizinho a Cataguases, Itamaraty, o novo empreendimento foi a

[6] Fonte da imagem: http://www.cataguases.com.br/Pagina.aspx?14. Acessado em: 10 de maio de 2016.

terceira empresa do país a ter os seus papéis vendidos sob a forma de ações na bolsa de valores do Rio, em 1907. Já a usina, assim como o serviço de distribuição no seu município sede, começa a operar no ano seguinte, 1908, gerando 800 KW de potência.

Aos poucos, a Força Luz crescia e adquiria o direito de operar em outras cidades da região, com a potência da usina de Itamaraty aumentando para 1,2 MW, em 1912. Ainda na década de 1910, são adquiridas a *Companhia Pombense de Eletricidade* em Rio Pomba (MG) e a *Usina Coronel Domiciano*, em Muriaé.



Figura I.3: Prédio de máquinas da Usina Maurício em 1908[7]

A chegada da luz elétrica a Cataguases demonstra o pioneirismo e o ritmo intenso no qual se desenvolveu o crescimento e o progresso da cidade. Antes de Cataguases, apenas Juiz de Fora produzia e comercializava energia, sendo o primeiro município da América do Sul a ter esse tipo de serviço. O ponto interessante e que aproxima os dois municípios, é que a luz elétrica também serviu para alimentar teares da fábrica de tecidos local.

O incentivo para o setor têxtil em Juiz de Fora, parte do industrial Bernardo Mascarenhas, que volta da Europa com a ideia de começar um negócio na área com aparatos movidos à eletricidade, logo após ter estado na Exposição Universal de Paris (1878)[8].

Seguindo os seus objetivos, Bernardo construiu a usina de *Marmelos*, a primeira usina hidrelétrica da América do Sul a nível comercial, dando origem a *Cia Mineira de Eletricidade*, em 1888, que guarneceu Juiz de Fora com o serviço de iluminação pública. O fornecimento de energia elétrica permitiu que a cidade se tornasse um dos principais centros urbanos do estado naquele período.

---

[7] Fonte: http://holding.grupoenergisa.com.br/paginas/grupo-energisa/nossa-historia.aspx. Acessado em: 10 de maio de 2016.

[8] Fonte: http://viajeaqui.abril.com.br/materias/questao-hidreletrica-brasil acessado em 21 de abril de 2016.

Com o sucesso da “Cataguases-Leopoldina”, a empresa constrói outras usinas e amplia a sua rede de fornecimento, atendendo aproximadamente 16 milhões de pessoas em diversos estados do Brasil cem anos após a sua inauguração, mas com o nome de *Energisa S.A*., sendo responsável também, pela primeira usina termelétrica de Minas Gerais à gás natural, a Usina Termelétrica de Juiz de Fora (UTEJF).

I.3 Industrialização, Educação e Cultura

Por outro lado, a importância das empresas do setor de tecidos para a cidade foi muito além da geração de empregos e renda. A indústria cataguasense e os seus empresários, foram importantes também para o desenvolvimento da educação, com a abertura do *Ginásio de Cataguases*, em 1910, atendendo uma antiga demanda da elite local.

De acordo com o jornal “O Cataguases”, foi por volta de 1909 que alguns comerciantes e empresários se juntaram para conseguir os recursos financeiros necessários para inaugurar o ginásio. Isso pode ser evidenciado na notícia publicada no dia 17 de outubro do mesmo ano, que trazia a informação de que Manuel Inácio Peixoto, João Duarte Ferreira e Antônio Henrique Felipe, teriam reunido a quantia de Rs 50.000$000 e que estariam procurando outros interessados a se associar nesse empreendimento.

O antigo Ginásio é fundado no ano seguinte, exatamente em 31 de março de 1910, ficando a cargo de Manuel Inácio Peixoto e de João Duarte Ferreira. O primeiro se tornaria proprietário da Companhia Industrial Têxtil, da qual já havia sido diretor e o segundo foi um dos fundadores da mesma companhia e da Força e Luz Cataguases-Leopoldina.

A instituição, de iniciativa privada, tinha como fim atender apenas a elite da cidade e não a população de menor poder aquisitivo; não foi construída para atender uma necessidade da população em geral, já que o projeto de lei do final do século XIX que previa a criação de uma escola secundarista pela prefeitura e mantida pelo estado, não conseguiu sair do papel pela falta de capital na esfera pública.

Atendendo um público selecionado, grupos como o Grêmio Literário Machado de Assis, eram formados por jovens membros filhos de industriais e fazendeiros (Ruffato, 2002). É dentro do grêmio escolar que esses jovens têm contato com revistas e produções modernistas europeias e é onde se desenvolve a cultura e a disposição para responder a crise da identidade nacional vivida no restante do país. Para Velloso (2003), é a elite brasileira que sempre toma a frente para responder a esse tipo de questão, logo, em Cataguases, não seria diferente. Por conta disso, o grupo dos

Verdes, que tiveram como embrião o grêmio, tem nas suas produções características próprias evidenciando o regionalismo do modernismo brasileiro, que não ficou restrito apenas ao eixo Rio e São Paulo (Menezes, 2013).

Em 1943, o Ginásio de Cataguases foi vendido à firma *Peixoto & Cia. Ltda,* de propriedade do ex-aluno Francisco Inácio Peixoto, filho de Manoel Inácio Peixoto. O decreto n° 21476, de 22 de julho de 1946, transformou o *Ginásio Municipal de Cataguases* em *Colégio de Cataguases*. Um moderno edifício, projetado por Oscar Niemeyer, foi erguido em substituição ao antigo no mesmo local, e faz parte da história da arquitetura brasileira, como uma das obras emblemáticas de Niemeyer, mas para além disso, foi importante por preservar uma série de obras, pois o colégio sediava no seu interior o Museu de Belas Artes de Cataguases, cuja coleção contava com quadros de artistas plásticos famosos, como Iberê Camargo, Di Cavalcanti, Durval Serra.[9]

O Colégio de Cataguases é um grande símbolo de uma época de prosperidade para o município, marcada pela industrialização, a mudança no cenário urbano e pelo fenômeno modernista, que vai desde a poesia e literatura dos Verdes nos anos 20 até os prédios com linhas modernas em sua arquitetura na década de 1940.

Ademais, a contribuição empresarial para a educação, não se restringiu apenas ao ginásio e ao colégio. O Senai (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial) de Cataguases, recebeu o terreno da firma Irmãos Peixoto S.A[10] (pertencente à família Peixoto) para que o operariado da cidade tivesse acesso à capacitação técnica, com o curso de técnico industrial têxtil, segundo notícia de 31 de julho de 1949, do *Jornal Cataguazes*.

[9] Fonte: Descrição e análise do bem cultural ao Arquivo Público Municipal - Processo de tombamento de bens Municipais

[10] A companhia de tecelagem fundada em 1905 passou por inúmeras mudanças no seu nome e na sua gestão. Com a crise do algodão em 1910, Manoel Inácio Peixoto assumi a direção da fábrica e em 1911 ocorre à primeira mudança de nome, mas é em 1935, quando a empresa chamava “Irmãos Peixoto & Cia”, ela se torna uma companhia de capital aberto passando a se chamar “Irmãos Peixoto S.A.”. (Fonte; site da Companhia Industrial Cataguases: http://www.cataguases.com.br/Pagina.aspx?14 - acessado em 06 de janeiro de 2016).

Capítulo II - O desenvolvimento do Eletromagnetismo

Para boa parte da sociedade atual, viver em um mundo sem eletricidade e desprovido de iluminação pública, luz elétrica em casa, TVs, computadores, aparelhos de som, e demais benesses do mundo moderno, é algo inimaginável.

Descrever os episódios históricos, o desenvolvimento da Teoria Eletromagnética, desde os seus primórdios até as Equações de Maxwell e aplicações na indústria, discutidos em sala de aula e no museu durante o curso, como o motor elétrico e a geração de corrente em usinas mediante o princípio da Indução de Faraday, é parte do trabalho, ao mostrar que a busca pela aplicação da Física para obtenção de novas tecnologias nem sempre foi o interesse maior dos cientistas ao estudar a Eletricidade e o Magnetismo.

II.1 Dos estudos do efeito âmbar ao "*De Magnete*"

A Teoria Eletromagnética ou Eletromagnetismo, que, ao lado da Mecânica e da Termodinâmica, compõem a chamada "Física Clássica", contou com a contribuição de diferentes cientistas em momentos distintos da história da humanidade para explicar uma gama de fenômenos, que hoje sabemos estar ligados a essa área de conhecimento; por exemplo, o âmbar (resina cristalizada das árvores), ao ser atritado com algum outro tipo de material, adquire, conforme se sabe atualmente, carga elétrica e a propriedade de atrair outros objetos. Além dele, a magnetita, um imã natural, possuía a propriedade de atrair o ferro. Ambos os fenômenos ficaram conhecidos pelos gregos antigos como "efeito âmbar" e foram diferenciados apenas no século XVI, especificamente 1550, pelo matemático italiano Girolamo Cardano; diferenciação feita também pelo inglês, William Gilbert em *De Magnete*, mas sem fazer referências ao primeiro (ROCHA, 2002). A palavra eletricidade deriva do âmbar, elektron em grego. Fenômeno estudado primeiramente pelo filósofo natural Tales de Mileto (640 - 550 a.C.).

Até os estudos em torno da Eletricidade e do Magnetismo voltarem a estar no foco dos cientistas, houve um longo intervalo de tempo desde a antiguidade, sendo retomados vinte séculos depois por volta de 1550 por Cardano (GUAYDIER, 1984).

No entanto, a forma racional como os gregos descreviam a natureza e a expressão do pensamento para explicá-la, feita pelos filósofos naturais, remetia somente à descrição, sem o uso da experimentação para a investigação (CHAUI,

2002; PÓVOAS, 2012). Na retomada dos estudos sobre Eletromagnetismo, na virada do século XVI para o XVII, Gilbert apresenta um padrão de trabalho científico diferente.

William Gilbert (1544 - 1603) começou a estudar medicina na Universidade de Cambridge em Londres por volta de 1570, chegando a se tornar médico da rainha Elizabeth I. A sua metodologia de trabalho, fazendo uso da experimentação para investigação de fenômenos elétricos e magnéticos, já se assemelhava ao fazer científico que começaria no século XVII com a Revolução Científica - que trouxe em sua essência a junção da matemática e da técnica, que culminou na chamada "Ciência Moderna" -, apesar de sua expressão de pensamento se assemelhar aos filósofos naturais do medievo.

Em "De Magnete", publicado em 1600, Gilbert fez a distinção entre os fenômenos elétricos e magnéticos (sem fazer referência aos trabalhos de Cardano), com uma série de observações, aproveitando da palavra *elektron* para chamar de elétricos os objetos que se comportavam de forma semelhante ao âmbar após serem atritados e de não elétricos os que não apresentavam comportamento semelhante após a fricção. A explicação para a atração entre corpos eletrizados se deu pela teoria do *effluvium*; um fluído que se expandia ao longo do espaço, em todas as direções, para atrair e agir sobre os corpos (ROCHA, 2002).



Figura II.1: Fotografia de William Gilbert[11]

No ramo do magnetismo, ainda na mesma obra, Gilbert desenvolveu trabalhos sobre o campo magnético terrestre, sendo que na época, já se sabia que ao quebrar um imã, obtinham-se dois outros imãs, cada qual com um pólo sul e norte. Para o inglês a Terra era um imenso imã cujos pólos magnéticos coincidiam com os

[11] Imagem disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/William_Gilbert. Acessado em: 13 de abril de 2016.

geográficos, chegando a construir uma espécie de maquete do planeta com um imã esférico, simulando as montanhas e posicionando bússolas para analisar as suas orientações. Através do magnetismo, o próprio Gilbert também tentou explicar o movimento dos planetas.

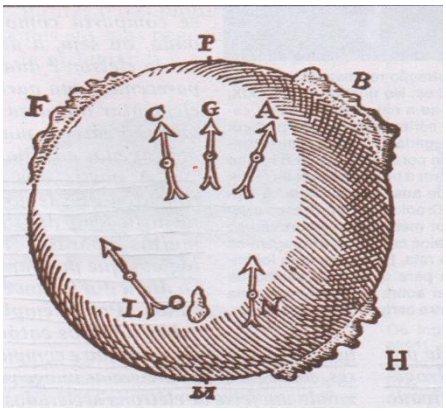


Figura II.2: Ilustração do experimento feito por Gilbert para estudar o magnetismo terrestre (BRAGA; GUERRA; REIS, 2004, pág. 11)

É importante destacar que nesse período da história ocorriam as grandes navegações e uma série de expedições marítimas, e um instrumento foi de grande utilidade para as expedições pelos mares e oceanos: a bússola. Utilizada na China em práticas de adivinhações entre os séculos XI e III a.C., esse artefato possivelmente teria chegado a Europa por intermédio do contato com povos orientais durante as Cruzadas.

Os chineses também já demonstravam outros conhecimentos acerca do magnetismo, conforme citação abaixo:

> *"Além do advento da bússola, os chineses também já sabiam magnetizar o ferro através de imãs naturais, embora não tivessem teorizado uma explicação para o fenômeno"* (PÓVOAS, 2012, pág. 23).

Entretanto, os estudos sobre o Eletromagnetismo foram retomados apenas no século XVIII, com poucos cientistas dando prosseguimento aos trabalhos de Gilbert e Cardano. Entre eles: Otto von Guericke, Stephen Grey, Charles Du Fay e Benjamin Franklin.

Na sequência, uma linha do tempo mostra quando a eletricidade, o magnetismo, o galvanismo, mais tarde a óptica, convergiram reunindo-se em torno de uma única teoria que mostrava que todos esses campos de estudos são

manifestações distintas da mesma coisa, e quais cientistas empreenderam trabalhos em torno de cada tema.

O galvanismo, que também aparece na linha do tempo, era um ramo do Eletromagnetismo que se preocupava em estudar os efeitos da eletricidade nos seres vivos. O nome faz referência ao médico, físico e filósofo italiano, Luigi Galvani (1737 - 1798), defensor da ideia da eletricidade ser a essência da vida dos seres vivos, assim como a alma em certas religiões. Os seus trabalhos em torno desse assunto serviram de base para a obra criada por Mary Shelley, em 1818, “O Frankenstein”. Sendo um exemplo de como a ciência e as artes ao longo da história mantiveram um diálogo, principalmente nos séculos XVII e XVIII, em que os estudos da eletricidade empreenderam grandes avanços e a Ciência como um todo recebeu uma grande valorização (BRAGA, GUERRA, REIS; 2011).

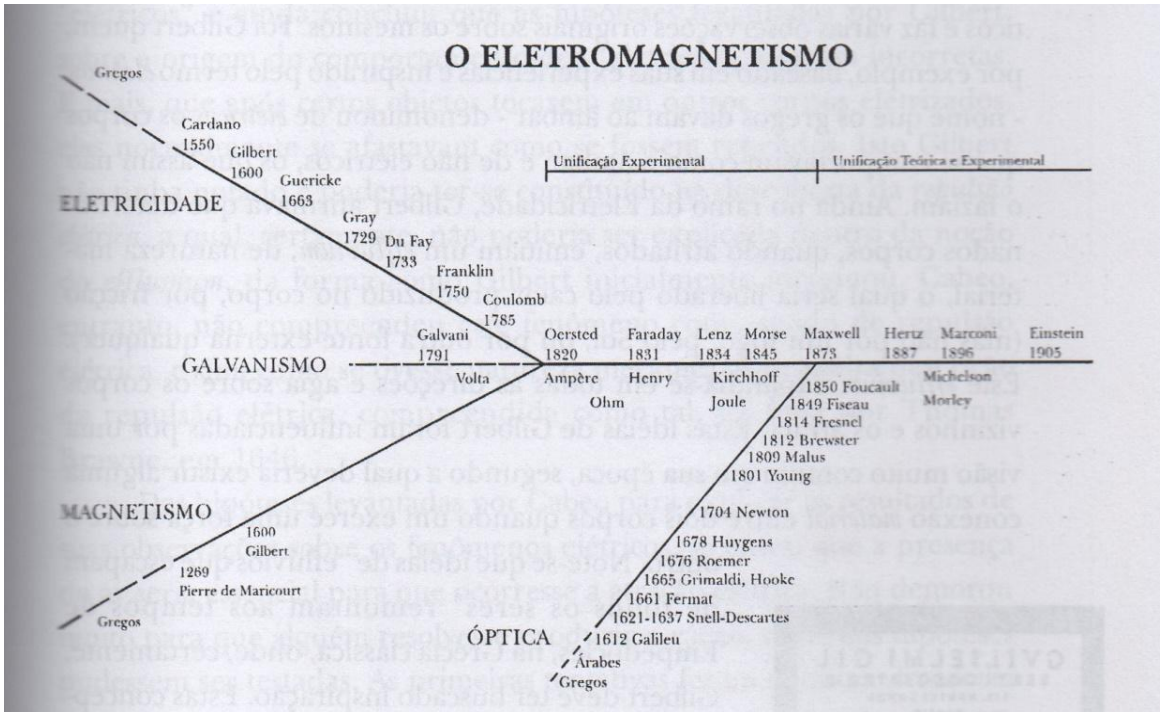


Figura II.3: Linha do Tempo do desenvolvimento da Teoria Eletromagnética (ROCHA, 2002, pág. 189)

II.2 A geração de eletricidade, o fluído elétrico e a formulação matemática da Lei de Coulomb

No século XVIII, os cientistas se preocupavam com duas coisas: a geração de eletricidade, e como os corpos ficavam eletrizados, ou seja, adquiriam carga elétrica para explicar a atração e a repulsão.

Charles François de Cisternay Du Fay, químico francês, publicou em 1735, na revista *Philosophical Transactions of the Royal Society*, um resumo de toda a sua pesquisa em eletricidade e que já havia sido publicada anteriormente em quatro memórias à Academia Real de Ciências da França, sendo que na última ele disserta sobre a atração e repulsão entre corpos eletrizados. Nessa carta, ele reporta a existência de duas eletricidades, a *vítrea* e a *resinosa*, afirmando que corpos com a mesma eletricidade se repelem e com eletricidade oposta se atraem (BOSS, CALUZI, 2007).

As academias de ciências eram instituições fundamentais para o conhecimento e a divulgação do saber científico e as que existiam na França e na Inglaterra (Royal Society), com financiamento real, destacam-se pela publicação de trabalhos e o estabelecimento de redes entre os filósofos "cientistas" desse período histórico.

A contribuição de Du Fay permitiu ao também francês, Jean-Antoine Nollet explicar fenômenos elétricos através do movimento de correntes de fluídos elétricos que entravam e saíam dos corpos quando atritados. Para Nollet, assim que um objeto sofria fricção uma corrente efluente emanava através dos seus poros e para compensar a perda, uma afluente entrava no corpo, sendo responsáveis pela atração entre duas substâncias. Entretanto, as correntes não divergiam apenas em sentido, mas em distribuição espacial e velocidades (SILVA, PIMENTEL; 2006 apud NOLLET, 1753).

Du Fay defendia a ideia de a eletricidade estar relacionada à natureza de um fluido, porém, entendia que um corpo neutro tinha a mesma quantidade de dois fluidos distintos, a *teoria dos dois fluidos*. Ambos os fluidos eram imponderáveis e possuíam enorme mobilidade nos condutores, e não tinham propriedades como inércia, peso e elasticidade. Teoria também defendida pelo escocês Robert Symmer e por Torbern Bergman, químico sueco (PIRES, 2008).

Nos Estados Unidos, em uma palestra do Dr. Archibald Spencer, em 1743, na cidade de Boston, Benjamin Franklin toma conhecimento das pesquisas e se interessa pelos fenômenos elétricos. Já em 1747, movido pelo seu interesse, recebe artigos descrevendo experimentos e encarrega a um vidreiro e a um artífice, equipamentos para o seu próprio trabalho experimental. Ao explicar o efeito de eletrização, o cientista americano Franklin, - inventor do para-raios -, também utilizou a ideia da eletricidade ser um fluido, nesse caso, único, que migrava de um corpo A para um corpo B, introduzindo novos termos, tais como: positivo (+) ao receptor do fluído; e negativo (-) para o que perdeu (MILCENT, 2007). Uma descrição que se encaixa com a maneira na qual os livros didáticos modernos descrevem os portadores de carga mediante a

perda e o ganho de elétrons; partícula elementar de carga negativa, descoberto por Joseph John Thomson no final do século XIX.

Um importante artefato que fez Franklin entrar em “conflito” foi a garrafa de Layden[12], um invento criado com o intuito de armazenar eletricidade por conta da crença dela ser um fluído. A garrafa era feita de vidro e constituída por uma tampa de cortiça com um prego metálico que seria ligado a um gerador eletrostático, conforme a figura abaixo.

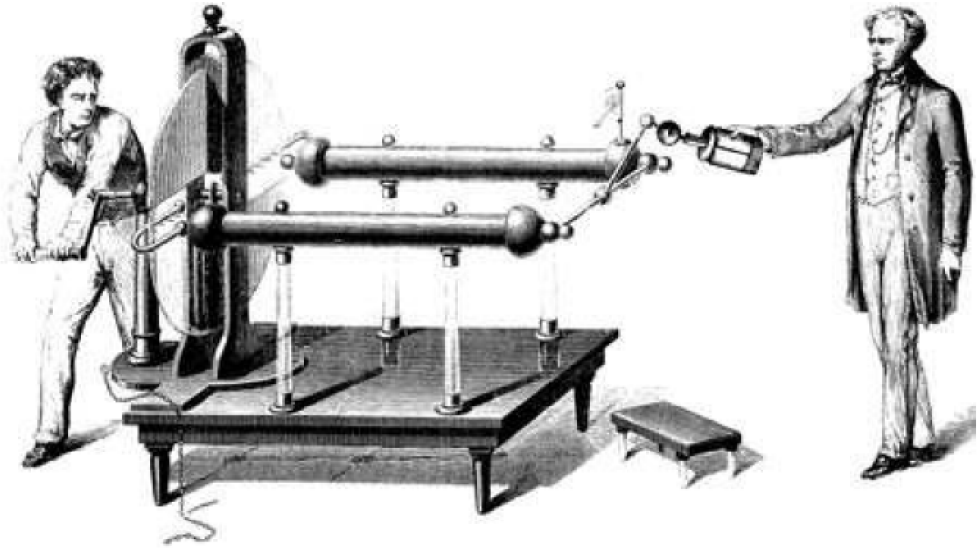


Figura II.4: Garrafa de Leyden sendo carregada por um gerador eletrostático[13]

Ao ser carregada a garrafa não mantinha a eletricidade no seu interior, fato que chamou a atenção de Franklin, e que foi reportado por ele ao químico americano, Joseph Priestley (1733 - 1804). Ao responder a correspondência, Priestley fala sobre um resultado previsto na Lei da Gravitação Universal de Newton, no qual o campo gravitacional no interior de uma esfera oca é nulo. Então Franklin supôs, por analogia, que o fluído elétrico se repelia com o inverso do quadrado da distância (PIRES, 2008).

Atualmente, a formulação matemática para descrever a intensidade da força (F) de atração ou repulsão mútua entre duas cargas pontuais, q_1 e q_2, é dada pela Lei de Coulomb, referência ao francês Charles Augustin Coulomb (1736 - 1806).

[12] A garrafa leva o nome da Universidade homônima, na qual o professor de física e matemática Pieter van Musschenbroek (1692 - 1761) trabalhou no seu aperfeiçoamento. Mas o primeiro a usar a garrafa para armazenar eletricidade foi Ewald Von Kleist (1700 - 1748) (RONAN, 1987).

[13] Imagem disponível em: http://www.geocities.ws/saladefisica5/leituras/leyden.html. Acesso em 16 de abril de 2016.

$$F = K_0 \frac{q_1 q_2}{d^2}$$

Formulação matemática da Lei de Coulomb para duas cargas no vácuo

Contudo, uma parte do resultado que relaciona a força com o inverso do quadrado da distância (d) é resultado das pesquisas de Franklin e da troca de cartas com Priestley. A segunda parte que mostra a força como sendo diretamente proporcional ao produto das cargas foi esclarecida por Coulomb ao fazer uso da balança de torção inventada por John Mitchel em 1750, e que já havia sido usada por Henry Cavendish para medir a constante da gravitação Universal, anunciando os resultados de seus experimentos à Academia de Ciências da França na forma de memórias.

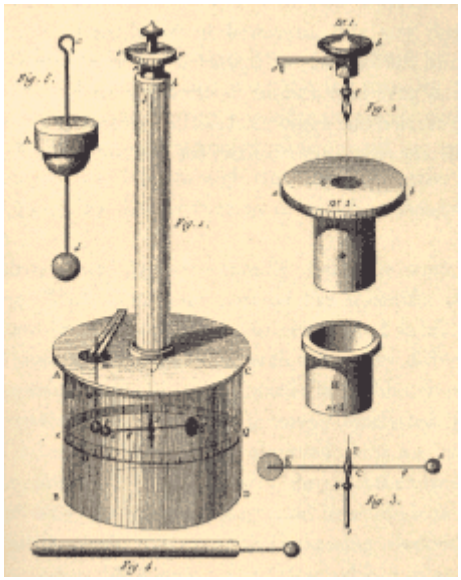


Figura II.5: Balança de Torção[14]

Além de mostrar que a intensidade entre dois objetos portadores de carga elétrica é diretamente proporcional ao produto das cargas, Coulomb também demonstrou através da experimentação, o princípio de conservação da carga elétrica. Ao tocar uma esfera eletrizada em outra esfera idêntica e neutra, a carga elétrica da primeira se dividia igualmente entre as duas. Ele comprovou esse resultado ao medir a força que cada uma delas separadamente exercia sobre um terceiro corpo.

Como o pensamento de Newton estava difundido no meio científico e a visão mecanicista permeava a metodologia de trabalho dos cientistas, a ideia de ação à

[14] Imagem disponível em: http://www.grupoescolar.com/pesquisa/charles-augustin-de-coulomb-1736--1806.html. Acessado em: 17 de abril de 2016.

distância não era bem aceita (BRAGA; GUERRA; REIS, 2011). O primeiro cientista que tentou responder a essa questão da ação à distância foi Michael Faraday, introduzindo o conceito de linhas de força, que foi chamado por ele de campo; conceito que seria definido por James Clarck Maxwell no século XIX.

Para descrever os trabalhos de Faraday e compreender o que seriam as linhas de força, a próxima etapa do trabalho será dedicada a contar a história de parte da vida desse cientista e as suas importantes contribuições para a Teoria Eletromagnética.

II.3 Linhas de Força e o Princípio de Indução de Faraday

Michael Faraday (1761 - 1897) foi um dos maiores físicos experimentais de todos os tempos. O inglês, de origem pobre, começou a trabalhar ainda adolescente em uma encadernadora onde teve contato com a enciclopédia britânica e reproduzia, por conta própria, com equipamentos elétricos alguns dos experimentos publicados nos fascículos.

A sua origem simples não propiciou a ele uma educação básica de qualidade. Sabendo apenas ler, escrever e um pouco de matemática, Faraday procurava explicar os fenômenos que estudava de forma simples e tentando fazer analogias com fenômenos físicos conhecidos. Fazendo dessa característica uma marca importante do seu trabalho científico, com uma forte veia experimental (DIAS; MARTINS, 2004)



Figura II.6: Fotográfia de Michael Faraday[15]

Em 1812, assume o cargo de auxiliar de laboratório em Londres, na *Royal Institution,* do químico Humphry Davy (1778 - 1829). Faraday foi responsável pela

[15] Imagem disponível em: http://educacao.uol.com.br/biografias/michael-faraday.htm. Acessado em: 21 de abril de 2016.

descoberta da decomposição química de uma substância mediante a passagem de corrente elétrica, a eletrólise.

No século XIX, o porquê de dois imãs se atraírem, por exemplo, estava em aberto e não era bem aceito pelos cientistas, como foi dito na seção anterior, e foi atribuída a Faraday, segundo PIRES (2008), a iniciativa para responder a esse problema ao introduzir o conceito de linhas de força.

Para ele, o espaço entre duas cargas e dois imãs era preenchido por “algo”, chamado por ele de *linha de força*. Eram as linhas que intermediavam a interação entre os objetos e explicavam a natureza da força elétrica e magnética.

Embora Faraday tenha chamado as linhas de campo, foi James Clarck Maxwell, famoso por ter previsto matematicamente a existência de ondas eletromagnéticas através de manipulações das equações que descreviam fenômenos elétricos e magnéticos[16], que trouxe uma definição mais precisa de campo, em seu artigo “Sobre as linhas de força de Faraday”, em 1855 (BRAGA; GUERRA; REIS, 2004). Mesmo assim, as características das linhas de força segundo Faraday são importantes até hoje para estudar qualitativamente um campo, já que ele chegou às seguintes conclusões:

- as linhas de força são contínuas ao longo de todo o espaço;
- quanto maior é a densidade de linhas em uma determinada região, mais intenso é o campo;
- o campo é função de ponto sempre tangente à linha.

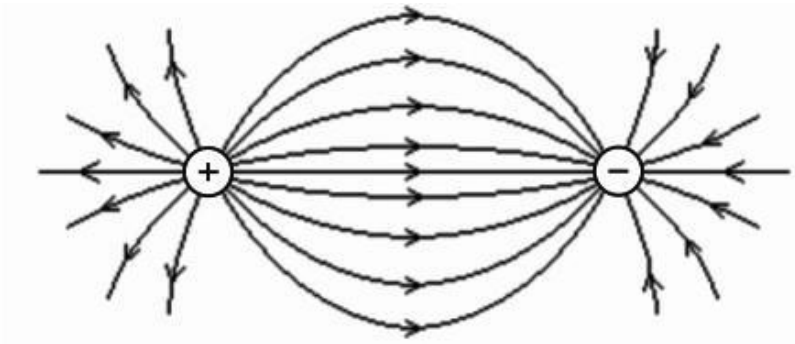


Figura II.7: Linhas de campo entre duas cargas pontuais[17]

[16] As Equações de Maxwell” são as formulações matemáticas, na forma diferencial e integral, da Lei de Gauss (Campo Elétrico e Magnético), da Lei de Ampére e da Lei de Faraday. Maxwell previu a existência de ondas compostas por campos elétricos e magnéticos que oscilavam em fase ao longo do tempo. Heinrich Hertz (1857 - 1894) evidenciou a existência das ondas em 1888.

[17] Imagem disponível em: http://educacao.globo.com/fisica/assunto/eletromagnetismo/forca-eletrica-e-campo-eletrico.html. Acessado em: 03 de maio de 2016.

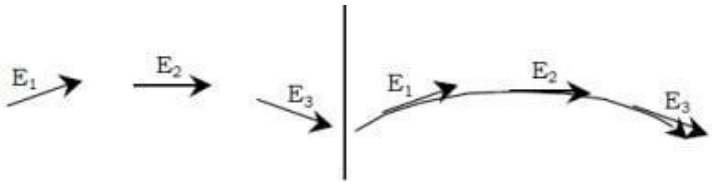


Figura II.8: Uso das linhas de campo para determinar o sentido e a direção do campo em diferentes pontos do espaço[18]

Em 1820, enquanto Faraday ainda trabalhava com Davy, o dinamarquês Hans Christian Oersted (1777 - 1851) descobre a relação entre a eletricidade e o magnetismo ao observar a deflexão da agulha de uma bússola quando posicionada próxima a um circuito por onde passa corrente. Essa importante descoberta revela que tanto a eletricidade quanto o magnetismo são evidências de um mesmo fenômeno, fazendo a atenção da comunidade científica se voltar para a Teoria Eletromagnética, despertando o interesse de Faraday também; que até o momento não se dedicava a Física de forma integral (DIAS; MARTINS, 2004).

A partir do artigo publicado por Oersted acerca da sua importante descoberta que unificou eletricidade e magnetismo, Faraday, junto com Davy, começam uma série de experimentos sobre o efeito de correntes sobre imãs. Em um dos seus experimentos, Faraday introduz um imã no interior de um solenoide para observar o efeito sobre a agulha de um galvanômetro[19] ligado ao circuito, porém, sem sucesso. Mas foi com o uso de uma bateria voltaica que Faraday percebe o efeito denominado por ele de “indução”[20], a geração de corrente elétrica mediante a variação de fluxo magnético ao longo de um condutor. Em outras palavras, os estudos de Faraday mostraram que um campo magnético variável no tempo é capaz de gerar um campo elétrico, a Lei da Indução de Faraday.

$$\oint \vec{E}.\vec{dl} = -\frac{\partial \Phi}{\partial t} \rightarrow \nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

Forma Integral e diferencial da Lei da Indução de Faraday

[18] Imagem disponível em: http://educacao.globo.com/fisica/assunto/eletromagnetismo/forca-eletrica-e-campo-eletrico.html. Acessado em: 03 de maio de 2016.

[19] Dispositivo utilizado para detectar correntes de baixa intensidade e medir pequenos valores de tensão mediante a variação da resistência interna e da forma de ligação (série ou paralelo) em um circuito elétrico.

[20] De acordo com DIAS; MARTINS (2004), Faraday teria usado a palavra “indução” para fazer uma menção ao efeito gerado por um material eletrizado sobre outro material neutro, induzindo neste uma polarização.

O dispositivo usado nos experimentos que evidenciaram o efeito da indução para geração de corrente, a bateria voltaica, ou pilha de Volta, foi criada pelo italiano homônimo, Alessandro Volta (1745 - 1827).

Diferentemente de Galvani e da sua teoria da eletricidade animal, com origem nos seres vivos, Volta acreditava na eletricidade sendo oriunda dos metais. Ao empilhar placas de zinco e cobre de forma alternada, sempre deixando entre elas tecidos embebidos com uma solução ácida, Volta conseguiu gerar eletricidade através de uma reação química de óxido-redução, na qual um elétron é transferido de um material para o outro, gerando assim uma diferença de potencial, ou voltagem (TOLENTINO; ROCHA-FILHO, 2000).



Figura II.9: Pilha de Volta[21]

Como foi observado acima, a pilha de Volta gera eletricidade a partir de uma reação química, enquanto que a energia elétrica obtida mediante a aplicação do princípio da Indução de Faraday faz uso do trabalho mecânico. O melhor exemplo disso é a usina hidrelétrica que faz uso da força de uma queda d'água para mover suas turbinas. De modo semelhante, o dínamo, de uso comum em carros e bicicletas, utiliza da energia mecânica para obtenção de elétrica.

Composto de uma bobina interna móvel entre dois imãs posicionados um de frente para o outro com pólos opostos, o dínamo funciona a partir da indução

[21] Imagem disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Pilha_de_Volta. Acessado em: 22de abril de 2016.

ocasionada pela variação de fluxo magnético quando a bobina se move (BRAGA; GUERRA; REIS, 2004).

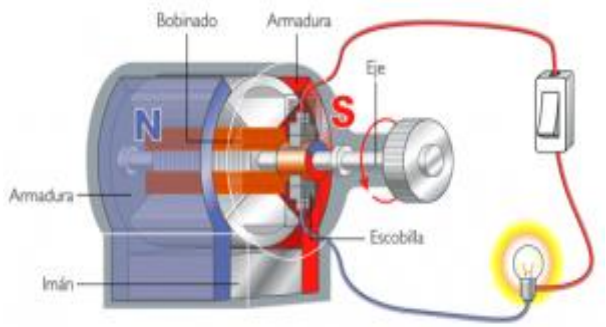


Figura II.10: Ilustração de um Dínamo[22]

Outro importante invento de Faraday, e que incentivou o desenvolvimento da indústria foi o motor elétrico. Presente nos dias de hoje em liquidificadores, ventiladores e no setor fabril, o invento mostrou como a eletricidade foi importante para o desenvolvimento da Inglaterra, país de Faraday, já que no século XIX, desde o momento que o projeto foi levado, em 1831, à *Royal Society*, até chegar ao ambiente das fábricas, se passou apenas um ano, quando comparado a primeira etapa da Revolução Industrial e dos estudos com a máquina à vapor, e o período em que Faraday viveu:

> *"A aplicação da eletricidade à indústria só aconteceu depois que os desenvolvimentos teóricos já se encontravam bem fundamentados. O tempo que separava teoria e prática foi brutalmente reduzido, de 100 anos, na primeira Revolução Industrial, para um, na segunda"* (BRAGA; GUERRA; REIS, 2011a, pág. 16).

Os estudos sobre o Eletromagnetismo que começaram na Grécia e que tiveram uma explicação racional sem o uso da experimentação cresceram com a Revolução Científica e a mudança no fazer científico no decorrer dos séculos XVIII e XIX. O advento da Ciência e da Tecnologia, principalmente os que estão ligados ao Eletromagnetismo, propiciaram aos países que investiram nessas áreas um grande desenvolvimento. Além disso, os estudos de Maxwell serviram de base para a Teoria da Relatividade Geral e Restrita de Albert Einstein, publicados no começo do século XX.

[22] Imagem disponível em: http://aprendereletricidade.com/comparacao-entre-dinamo-e-motor/. Acessado em: 22 de abril de 2016.

Capítulo III - Diários de campo

III.1 Aula 1

No primeiro horário de aula foi aplicado o questionário de sondagem (pré-teste), que continha seis questões objetivas e uma aberta. O tempo de aplicação foi de cinquenta minutos. O total de alunos que responderam ao teste foi 27.

No segundo horário, a aula começou com uma abordagem do ponto de vista histórico sobre o Eletromagnetismo com o uso de PowerPoint e foram comentados os seguintes tópicos:

- As divisões do eletromagnetismo: eletricidade, magnetismo e ótica;
- Origem da palava eletricidade;
- Efeito âmbar e a observação do fenômeno por filósofos naturais na Grécia Antiga;
- O galvanismo e o efeito da eletricidade nos seres vivos e a relação com a obra de Mary Shelley, o Frankenstein;
- A diferença entre imãs e objetos eletrizados;
- Características dos imãs e o magnetismo terrestre;
- Citação aos tipos de eletrização: atrito, indução e contato.

Dois comentários interessantes foram feitos por duas alunas.

A primeira aluna, chamada aqui de Mariana, fez um questionamento sobre um problema de indução que estava no pré-teste, questão n° 4, assim que o assunto sobre a estrutura da matéria foi apresentado na sala. Ao ser explanado que o átomo é composto por prótons de cargas positivas, presos ao núcleo atômico, e dos elétrons de carga negativa, que são livres e capazes de migrar de um nível energético ou para outro átomo, Mariana comentou sobre o efeito de indução gerado por um bastão eletrizado que se aproximava de três esferas juntas, conforme descrevia o enunciado, e como ficava a distribuição das cargas com a presença do indutor e qual seria a alternativa correta para a questão.

A segunda intervenção, feita pela aluna Eliza, teve a ver com o Frankenstein de Mary Shelley e a pesquisa de Galvani sobre a eletricidade animal e que teria servido de influência para autora dessa obra clássica. Sobretudo, porque na época existia a crença dentro do naturalismo de que a eletricidade estaria relacionada com a essência da vida nos seres vivos. A aluna citou um filme, cujo enredo era sobre uma mulher que

havia tomado uma forte descarga elétrica e, por efeito desse choque, não envelhecia mais. Esse comentário foi feito no final da aula, quando a aluna se sentiu mais à vontade para fazê-lo. O filme é um longa-metragem de 2015, “A incrível história da Adaline”.

Outro ponto que chamou a atenção foi o fato de a aluna Luíza ter feito, por conta própria, um pequeno experimento de eletrização. Ela pegou a sua caneta, atritou em seu cabelo e depois mostrou para os colegas próximos a ela na classe que, de fato, um objeto que sofreu fricção consegue adquirir a propriedade de atrair um pequeno pedaço de papel, atestando assim a veracidade do efeito da eletrização por atrito.

III.2 Aula 2

Por ser uma quinta-feira após o feriado de carnaval, muitos alunos faltaram, comparecendo um total de 17.

O primeiro horário começou com uma revisão dos assuntos abordados na aula passada, partindo da série triboelétrica para reconhecer quais materiais tendem a ficar positivos ou negativos quando passam por um processo de fricção.

Com o auxílio de uma simulação computacional do PHET, os meninos e meninas puderam visualizar a transferência de cargas quando se atrita um balão de látex numa blusa de lã e depois, quando o mesmo balão, já eletrizado negativamente, é aproximado da parede à direita, conforme a imagem abaixo.

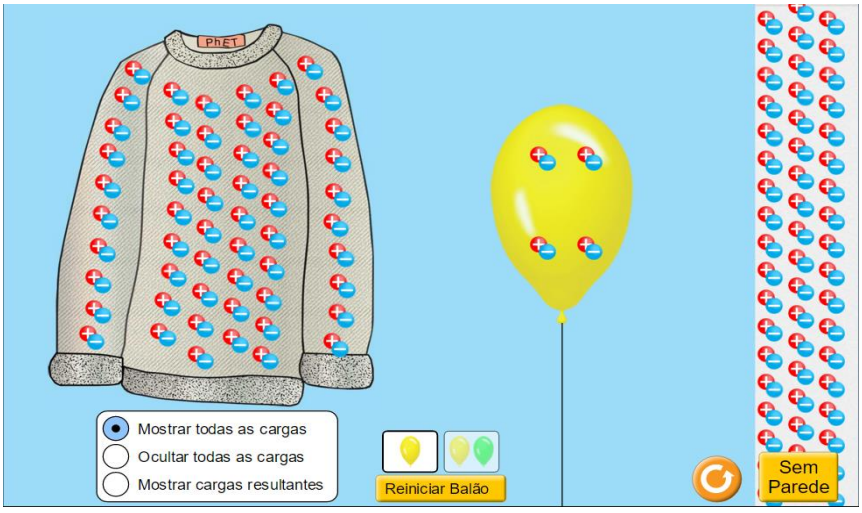


Figura III.1: Simulação do PHET - Balões e Eletricidade Estática[23]

Como a série apresentada nos slides continha um determinado número de itens, alguns alunos indagaram como seria a carga adquirida por algum material que não estivesse na lista. Essa indagação permitiu comentar o caráter empírico que há por trás da construção da série, já que o fenômeno de repulsão e atração, entre duas substâncias diferentes que passaram por um processo de atrito, é algo macroscópico observado desde a antiguidade grega, bem antes da descoberta do elétron por Joseph John Thonsom (1856 - 1940) e do seu modelo atômico conhecido como “pudim de passas”.

Uma questão importante levantada pela turma seria o resultado da fricção de duas substâncias iguais e qual seria a distribuição de carga final.

No final do primeiro tempo de aula, a aluna Eliza, mais uma vez, veio procurar o professor para tirar uma dúvida. Como a “pele humana” estava na lista de itens que compunham a série, ela tentou realizar um processo de eletrização por conta própria ao passar a mão na roupa. O professor explicou que o tamanho da palma de sua mão é diferente da área da superfície de uma régua ou canudinho de plástico comumente usado nesses experimentos, e que nas próximas aulas seria abordado o poder das pontas para explicar o fato de conseguir eletrizar com maior facilidade pequenos objetos.

Outro detalhe que chamou a atenção foi a dificuldade dos alunos em entender a diferença entre atrito e contato. No momento em que foi apresentado o princípio da conservação da carga elétrica, no segundo tempo de aula, e o processo de eletrização, pelo contato de dois condutores, a turma demonstrou dificuldade em compreender a diferença entre o processo de atrito e o de contato, justamente por não conseguir discernir a diferença entre os significados das duas palavras.

Nos dois horários de hoje foram trabalhados os seguintes tópicos:

- Série triboelétrica;
- Simulação do phet sobre a eletrização por atrito e indução;
- O processo de indução da superfície da terra na presença de uma nuvem com a base carregada;
- Condutores, isolantes e a quebra da rigidez dielétrica do ar;
- Princípio de conservação da carga elétrica;
- Eletrização por contato.

[23] Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/balloons-and-static-electricity/latest/balloons-and-static-electricity_pt_BR.html - acessado em: 29 de fevereiro de 2016.

III.3 Aula 3

A aula começou com a breve revisão do conteúdo de eletrização e interação entre cargas de sinais iguais e opostos trabalhados nas aulas anteriores e contou com a presença de 25 alunos.

Essa revisão deu base para que a questão sobre a intensidade da repulsão e da atração entre cargas elétricas fosse levantada junto aos alunos, para se introduzir a ideia de Força Elétrica (Lei de Coulomb) fazendo-se a seguinte pergunta: “Com que intensidade cargas elétricas se atraem ou se repelem?”.

A questão começou a ser respondida, ao comparar a expressão da lei da gravitação universal de Newton e a formulação da Lei de Coulomb, que os alunos já conheciam por terem visto o conteúdo de gravitação e eletrostática nas séries anteriores. A partir dessa comparação, comentou-se sobre a revolução científica no século XVII e o sucesso do mecanicismo e das leis de Newton, e como isso influenciou o trabalho dos cientistas que viveram após esse período e que pesquisavam fenômenos relacionados à eletricidade.

Nota-se a dificuldade de alguns alunos em relacionar duas grandezas inversamente proporcionais. Para eles, ao mantermos o valor de duas cargas elétricas e ao dobrarmos a distância, a força iria se reduzir a metade e não diminuir em quatro vezes, já que a força é inversamente proporcional ao quadrado da distância.

O aluno Natanael, demonstrou ter uma dúvida sobre a forma que cargas elétricas de mesmo sinal iriam se distribuir na superfície de um objeto feito de um material condutor. A dúvida surgiu a partir da garrafa de Leiden e o do fato de Benjamin Flanklin ter relatado a Joseph Priestley que as cargas não ficavam no interior da garrafa.

Natanael perguntou se as cargas elétricas se distribuiriam de maneira uniforme em um objeto com uma geometria diferente de uma esfera, pois a imagem presente no slide era uma esfera carregada positivamente para descrever a observação de Franklin.

Um ponto interessante foram as dúvidas em relação ao aparelho de micro-ondas, ligado ao conceito de permissividade elétrica. Nesse ponto da aula, o assunto era a definição de permissividade e a capacidade da quebra de rigidez dielétrica de um meio, transformando-o de um isolante em um condutor, quando submetido à certa diferença de potencial.

A discussão chegou nesse ponto, após o comentário sobre o que aconteceria se colocássemos uma barra de metal (material condutor) dentro de um micro-ondas, por exemplo, e o efeito do campo elétrico variável no tempo sobre o objeto. Isso trouxe

outras questões, como o princípio de funcionamento desse artefato tecnológico de uso comum na sociedade, inclusive pelos alunos hoje em dia.

A aluna Paula fez uma pergunta logo depois de ter sido indicado que a água pura (H_2O) seria um isolante, diferentemente de uma liga metálica. Como o assunto ainda era sobre a rigidez dielétrica, seu questionamento foi sobre o perigo de ficar dentro da água durante a queda de um raio. Isso deu oportunidade para comentar a respeito da composição química da água em rios, lagos, piscinas e no mar e de falar da presença de outras substâncias presentes na água e que propiciam a condução de eletricidade.

Durante o encontro foram abordados os seguintes tópicos:

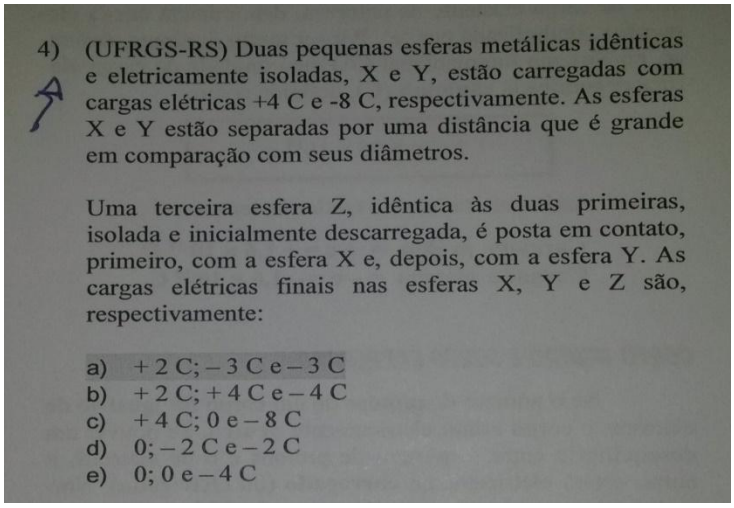
- História da Ciência:
    - Teoria do fluído único de Benjamin Flanklin;
    - Teoria dos dois fluídos: Du Fay/ Simmer/ Bergman;
- Descoberta do elétron por J.J. Thomson (final do séc. XIX);
- Forças Fundamentais da Natureza;
- Correspondências entre Flanklin e Joseph Priestley: o comportamento das cargas elétricas num condutor carregado e analogia com a gravitação universal - força elétrica é inversamente proporcional ao quadrado da distância;
- Experiência da balança de torção de Coulomb e o princípio de conservação da carga elétrica - força elétrica diretamente proporcional ao produto das cargas;
- Trechos das memórias de Coulomb anunciadas na Académie de Sciences da França;
- Tratamento matemático e dedução da Lei de Coulomb, a partir da narrativa histórica e da relação que a força elétrica tem com a distância e as cargas;
- Constante Eletrostática e permissividade elétrica;
- Exercícios.

III.4 Aula 4

Os dois tempos foram totalmente utilizados para a resolução de exercícios da apostila. 30 alunos estiveram presentes na aula.

No decorrer da primeira aula e da resolução dos exercícios com a turma, notaram-se algumas dificuldades apresentadas desde o primeiro dia pelos alunos. Muitos ainda confundiam a eletrização por atrito e contato, devido à semelhança que

há entre os dois processos e por conta dos significados das duas palavras remeterem à ideia de toque. Isso foi observado em um exercício sobre eletrização por contato.



4) (UFRGS-RS) Duas pequenas esferas metálicas idênticas e eletricamente isoladas, X e Y, estão carregadas com cargas elétricas +4 C e -8 C, respectivamente. As esferas X e Y estão separadas por uma distância que é grande em comparação com seus diâmetros.

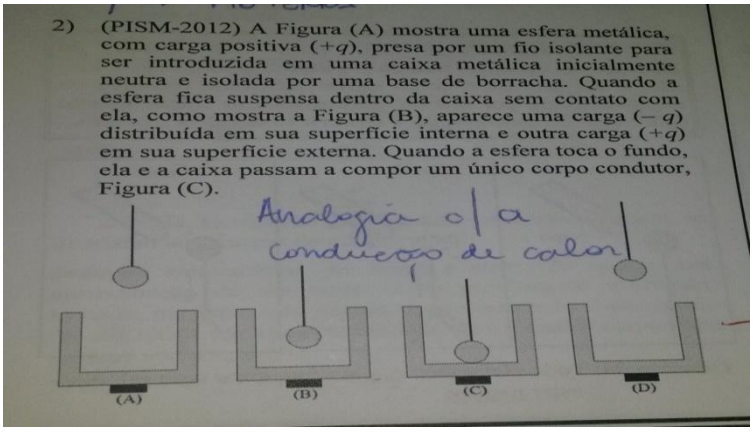
Uma terceira esfera Z, idêntica às duas primeiras, isolada e inicialmente descarregada, é posta em contato, primeiro, com a esfera X e, depois, com a esfera Y. As cargas elétricas finais nas esferas X, Y e Z são, respectivamente:

a) +2 C; −3 C e −3 C
b) +2 C; +4 C e −4 C
c) +4 C; 0 e −8 C
d) 0; −2 C e −2 C
e) 0; 0 e −4 C

Figura III.2: Exercício Apostila

A diferença entre atrito e contato foi abordada novamente em outro exercício, no qual uma esfera eletrizada pendurada por um fio isolante desce até uma caixa metálica isolada por um suporte de borracha.

Para poder diferenciar os dois tipos de eletrização, utilizou-se a estratégia da analogia com a condução de calor. A noção de contato térmico, na qual existe um fluxo de calor entre dois corpos com temperaturas diferentes até que o equilíbrio térmico seja atingido, e que não precisam necessariamente estar em contato no sentido literal da palavra, deu base para a noção de equilíbrio eletrostático com uma ilustração feita no quadro com duas esferas condutoras, com cargas diferentes e ligadas por um fio condutor, conforme a figura abaixo.



2) (PISM-2012) A Figura (A) mostra uma esfera metálica, com carga positiva (+q), presa por um fio isolante para ser introduzida em uma caixa metálica inicialmente neutra e isolada por uma base de borracha. Quando a esfera fica suspensa dentro da caixa sem contato com ela, como mostra a Figura (B), aparece uma carga (− q) distribuída em sua superfície interna e outra carga (+q) em sua superfície externa. Quando a esfera toca o fundo, ela e a caixa passam a compor um único corpo condutor, Figura (C).

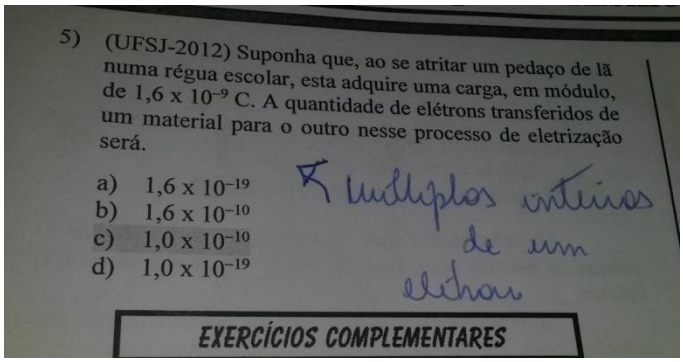
Analogia c/ a condução de calor

(A) (B) (C) (D)

Figura III.3: Exercício Apostila

A descrição de tal fenômeno serviu para comentar a neutralização de um condutor carregado através de um aterramento utilizando-se um fio terra. Seguindo o assunto, pode-se fazer um breve comentário sobre o funcionamento dos para-raios.

Outro ponto notado, durante o primeiro tempo de aula, foi a dificuldade que alunos apresentaram sobre a quantização da carga elétrica na resolução do exercício abaixo.


5) (UFSJ-2012) Suponha que, ao se atritar um pedaço de lã numa régua escolar, esta adquire uma carga, em módulo, de $1,6 \times 10^{-9}$ C. A quantidade de elétrons transferidos de um material para o outro nesse processo de eletrização será.

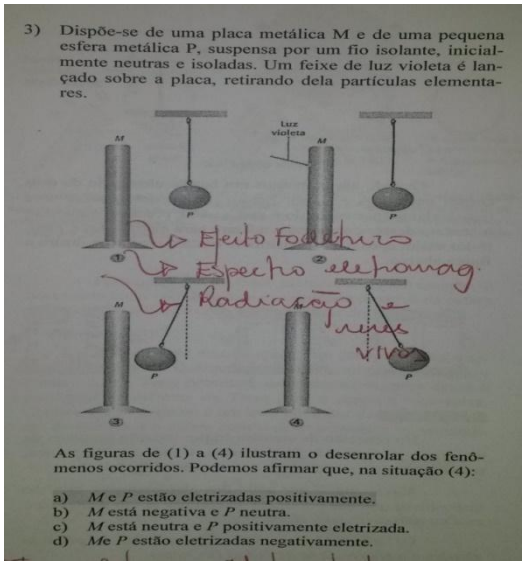
a) $1,6 \times 10^{-19}$
b) $1,6 \times 10^{-10}$
c) $1,0 \times 10^{-10}$
d) $1,0 \times 10^{-19}$

múltiplos inteiros de um elétron

EXERCÍCIOS COMPLEMENTARES

Figura III.4: Exercício Apostila

O segundo tempo de aula teve a duração reduzida por conta de uma reunião entre professores e o diretor durante o intervalo, atrasando o começo da aula e estendendo o recreio dos alunos. Mais exercícios foram resolvidos durante o horário, e um exercício que envolvia uma barra de metal eletrizada por conta da ação do efeito fotoelétrico com a incidência de luz violeta, permitiu fazer uma série de comentários sobre radiação e a interação da luz com a matéria.


3) Dispõe-se de uma placa metálica M e de uma pequena esfera metálica P, suspensa por um fio isolante, inicialmente neutras e isoladas. Um feixe de luz violeta é lançado sobre a placa, retirando dela partículas elementares.

Luz violeta

Efeito Fotoelétrico
Espectro eletromag.
Radiação e

As figuras de (1) a (4) ilustram o desenrolar dos fenômenos ocorridos. Podemos afirmar que, na situação (4):

a) *M* e *P* estão eletrizadas positivamente.
b) *M* está negativa e *P* neutra.
c) *M* está neutra e *P* positivamente eletrizada.
d) *M* e *P* estão eletrizadas negativamente.

Figura III.5: Exercício Apostila

O exercício deu oportunidade para o professor explicar os seguintes temas que não estavam no material didático: o efeito fotoelétrico; a transição de elétrons entre orbitais com diferentes tipos de energia, assim como os saltos quânticos e a queima de sais para as diferentes cores dos fogos de artifício; o espectro eletromagnético e como temperatura e radiação estão relacionadas; e aplicações da radiação, como os raios-X no dia-a-dia e o tratamento de câncer com o uso da radioterapia, conforme foi lembrado pela aluna Patrícia.

III.5 Aula 5

Por uma recomendação dos responsáveis pelo museu, o número de visitantes não poderia passar de vinte e cinco pessoas. Como a turma possui mais de trinta alunos, a classe foi divida em dois grupos de acordo com a lista de chamada organizada em ordem alfabética. Metade da sala em um grupo e os demais no segundo.

A seguir encontra-se a descrição da visitação realizada pelo primeiro grupo, assim como o roteiro de cada uma das visitações, com o primeiro e o segundo grupo.

A atividade foi programada em duas partes: 1) tour guiado pelos ambientes do museu, onde estão expostos fotografias e instrumentos que contam a história da empresa e da eletricidade; 2) aula sobre o processo de geração de corrente elétrica, numa sala improvisada como auditório com cadeiras e aparelho de multimídia instalado.

Mas antes de começar a atividade em si, os alunos foram reunidos inicialmente nesse auditório, para uma breve introdução sobre a Energisa e a programação da aula.

Como o curador não estava presente, coube ao professor apresentar o museu e contar a história da empresa e do processo de implantação da eletricidade em Cataguases. Foi dito à turma o motivo da visita e da criação da Energisa em 1906, na época Força e Luz Cataguases-Leopoldina, e a forma como a história da empresa de eletricidade estava ligada diretamente à indústria têxtil, já que três dos quatro sócios da fábrica de tecidos também faziam parte da sociedade da Força e Luz e procuravam maximizar a produção com teares de maior potência movidos a energia elétrica.

Após a introdução, a turma foi guiada para o primeiro ambiente que tinha nas paredes ilustrações numa espécie de linha do tempo: começando por uma imagem da máquina a vapor de Thomas Newcomen; a invenção do para-raios por Benjamin Franklin; passando pela pilha de Alessandro Volta; o gerador elétrico inventado por Michael Faraday; a lâmpada por Thomas Edson e o começo da distribuição de

eletricidade em grande escala nos EUA; a famosa foto de Nikola Tesla em 1899 no seu laboratório em Colorado Springs; terminando em 1883, com uma imagem do Ribeirão do Inferno, em Diamantina, com a primeira hidrelétrica do Brasil.

Ficou claro que a linha do tempo foi montada com o objetivo de falar das benesses conseguidas com os estudos em torno do Eletromagnetismo, já que começa com a primeira etapa da Revolução Industrial Inglesa e o domínio e aperfeiçoamento das máquinas térmicas e termina na geração de energia elétrica, após mostrar uma série de artefatos que contribuíram para o desenvolvimento tecnológico da humanidade. Os próximos ambientes foram reservados para a exposição de antigos artefatos utilizados na operação da primeira usina e ao longo do sistema de distribuição.

No ambiente reservado à história da eletricidade houve uma breve descrição de cada uma das invenções, sendo que o nome de B. Franklin havia sido citado em aulas anteriores por causa da teoria do fluído elétrico. Mas os pontos mais importantes que foram abordados junto aos alunos foram: a “Guerra das Correntes”, entre Edson e Tesla, na qual o modelo defendido pelo último, de corrente alternada, é utilizado até os dias de hoje, enquanto que o de corrente contínua sucumbiu por uma série de fatores, entre eles o econômico, já que gerar corrente contínua e transformá-la em alternada é mais caro, além da melhor eficiência para a distribuição por longas distâncias; e o problema da patente do rádio entre Tesla e o físico italiano Guglielmo Marconi.

Ainda nessa parte do museu, um momento de controvérsia ocorreu, por conta da informação sobre a primeira usina hidrelétrica do Brasil que foi questionada pelo professor. Segundo a informação que estava na parede, a primeira usina brasileira estaria localizada no Ribeirão do Inferno, afluente do Rio Jequitinhonha em Diamantina, norte de Minas Gerais, fundada em 1883, enquanto que a crença entre os moradores da Zona da Mata é de que a primeira hidrelétrica da América do Sul teria sido construída em Juiz de Fora (MG), por iniciativa do industrial Bernardo Mascarenhas, aproveitando uma das quedas d’água do Rio Paraibuna, começando a operar em 1888. Tese que é fortalecida por uma placa que fica acima do prédio de máquinas da usina de Marmelos Zero, localizado as margens da rodovia União Indústria, e por onde passam muitos ônibus, carros e caminhões vindos de Bicas, Leopoldina e Cataguases pela BR-267, ou de Matias Barbosa, com os dizeres: “Primeira Usina Hidrelétrica da América do Sul”. Todas cidades próximas a Juiz de Fora.



Figura III.6: Placa localizada no teto da casa de máquinas de Marmelos Zero[24]

Apesar do questionamento, os alunos concordaram com o professor, que é natural de Juiz de Fora, sobre o fato da principal cidade da Zona da Mata mineira ter sido a pioneira no Brasil no ramo da geração de eletricidade e a visitação continuou normalmente. Mas após a visita, fez-se uma pesquisa, para um esclarecimento, onde foi verificado que Marmelos teria sido a primeira usina hidrelétrica a produzir eletricidade a nível comercial, já que a de Diamantina operava para abastecimento de máquinas para extração de diamantes.

Falar sobre o sistema de corrente alternada levou o professor a comentar sobre as telecomunicações e a criação de aparelhos como o telégrafo, o telefone e sobre a vida do inventor escocês Alexander Graham Bell (1847 – 1922), motivado a trabalhar com mecanismos para facilitar a comunicação, por conta do seu trabalho sobre surdez e por ser professor de técnica vocal.

No segundo ambiente, onde ficam expostos aparelhos de topografia, máquinas de calcular e um telefone antigo, a aluna Ana ficou impressionada quando foi dito para a turma que era comum, nos recentes anos 80 e 90 no Brasil, as pessoas alugarem linhas telefônicas e que o acesso a esse tipo de bem é algo recente na história do nosso país.

O comentário feito pelo professor para a turma gerou estranheza, porque eles pertencem a uma geração em que é normal adolescentes da mesma idade terem um *smartphone* com acesso à internet e repleto de aplicativos que permitem o envio instantâneo de mensagens.

Passando ao terceiro ambiente, os alunos tiveram contato com itens como calculadoras, relógios de medição, isoladores e lâmpadas incandescentes antigas.

[24] Fonte: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Usina_de_Marmelos_2007_(a).jpg - acessado em: 29 de fevereiro de 2016.

A turma foi indagada do motivo daquele tipo de lâmpada ter uma redoma de vidro em torno do filamento. Foi explicado para eles que o filamento composto de tungstênio, um material que se funde apenas a altas temperaturas, suporta a elevação ocasionada pelo efeito Joule (energia dissipada sobre a forma de calor com a passagem de corrente elétrica), e que, dentro da lâmpada, não há oxigênio, mas ao invés disso, outro gás inerte que se comporta como um isolante térmico e não permite a combustão do filamento.

Também foi explicado para a turma o princípio de funcionamento da lâmpada fluorescente, que substituiu as incandescentes no mercado e se baseia no uso de um gás inerte, que quando submetido a uma tensão é ionizado e emite radiação ultravioleta. Essa forma de radiação, ao incidir sobre o fósforo depositado nas paredes internas da lâmpada, emite luz branca.

O fósforo costuma ser extraído para a fabricação de “cerol”, uma curiosidade comentada com os alunos, e caso a lâmpada não tivesse esse elemento químico dentro dela, ela continuaria emitindo o que chamamos de “luz negra”, já que o ultravioleta não pode ser visto pelo olho humano, fato que também foi dito aos alunos.

A primeira parte da visitação terminou na sala destinada à Energisa e que tem um mapa do país mostrando os estados e regiões onde a empresa atua. Algumas fotos de outros tipos de usinas, como eólicas e termoelétricas, estavam expostas. As imagens referentes a esses outros processos de geração de eletricidade deu a oportunidade de falar sobre o sistema de tarifação das contas de luz, representado pelas bandeiras verde, amarela e vermelha.

Explicou-se aos alunos que em épocas de estiagem, como em 2015, o governo precisa ligar usinas termoelétricas para aumentar a geração de energia. A produção então encarece, e o preço é repassado ao consumidor, implicando em um aumento na tarifa de energia elétrica. Essa tributação adicional é representada pela bandeira vermelha. Em caso de desligamento de algumas e barateamento da produção, bandeira amarela e em épocas de chuva, quando os reservatórios estão cheios e não há necessidade de termoelétricas, a bandeira é verde.

Comentários sobre a geração de eletricidade por usinas nucleares também foram feitos. O processo de fissão nuclear e o princípio de funcionamento dessas usinas foram descritos, assim também como o processo de resfriamento de um reator, no qual a água corrente “rouba” calor, passando para o estado de vapor e mexendo as turbinas.

Mediante a descrição, fez-se uma comparação com o sistema de arrefecimento de um carro e o professor citou o fato dessas usinas ficarem próximas do mar e

localizadas em cidades litorâneas como Angra dos Reis, por conta da fonte de água para resfriar os reatores. Concluindo assim a primeira parte do *tour.*

Após a visita pelo museu para ver os objetos expostos, os alunos voltaram ao auditório para a aula que falou sobre o processo de geração de eletricidade.

Com a ajuda de uma simulação do PHET, foram mostrados dois circuitos diferentes: um de corrente contínua e outro de corrente alternada, dispostos lado a lado na mesma simulação.

Os circuitos mostravam os portadores de carga se movimentando conforme a fonte de tensão, além de pequenos osciloscópios que demonstravam o comportamento da corrente em função do tempo, e uma lâmpada que ascendia com a passagem de corrente, mostrando o efeito da contínua (CC) e da alternada (CA). Sendo que no CC a lâmpada sempre permanecia acesa e no de CA ela ascendia e apagava.

A aluna Eduarda ficou impressionada com o fato de não ver a lâmpada incandescente acender e apagar da mesma maneira que na simulação, já que a eletricidade que chega a nossas residências é na forma de corrente alternada. Então foi explicada para ela e seus colegas, que a frequência com que a corrente muda de sentido num fio condutor é alta, e no caso do sistema brasileiro, a frequência é igual a 60 Hz (sessenta hertz), portanto, a lâmpada acende e apaga sessenta vezes por segundo, sendo imperceptível esse efeito.

A segunda parte da atividade, após a visitação pelos ambientes, tratou dos seguintes pontos:

- Definição de circuito elétrico;
- A pilha de Alessandro Volta e a reação de óxido-redução;
- Vida e obra de Michael Faraday;
- Trabalho de Faraday sobre o processo de eletrólise e as suas aplicações: purificação do cobre, obtenção do alumínio e o processo de eletrodeposição;
- Invenção do Motor Elétrico por Faraday;
- Conceito de Linhas de campo;
- Experimento de Oersted: relação entre corrente elétrica e campos magnéticos;
- Lei da Indução de Faraday;
- Geração de corrente por indução;
- Lei de Lenz;
- Aplicações da indução: dínamos e transformadores;

- Funcionamento de uma usina hidrelétrica e o processo de distribuição de energia, desde a usina, até as residências.

Apesar das aulas no período regular estarem na parte de eletrostática, conforme o cronograma da apostila, os alunos conseguiram entender bem os conceitos, sendo que em nenhum momento foi feito um tratamento matemático para a noção de variação de fluxo e a determinação da força eletromotriz induzida, matéria que será dada no terceiro bimestre, utilizando apenas a simulação dos experimentos de indução do PHET. Essa abordagem qualitativa não impediu os alunos de fazerem analogias com eletrodomésticos como liquidificadores, ventiladores, carregadores de celular, tomadas de notebook e os transformadores dos postes que transformam tensões elevadas em valores mais baixos de voltagem.

III.6 Aula 6

A aula foi voltada para a resolução de exercícios da apostila.

Os alunos apresentaram dificuldades logo no primeiro exercício, que misturava conceitos de Dinâmica (Leis de Newton) e a Lei de Coulomb.

Era uma questão do vestibular da FUVEST de 2016, que pedia para determinar o sinal de cargas elétricas de quatro esferas carregadas uniformemente e que delimitavam um quadrado, com cada uma em um vértice, conforme a figura abaixo.

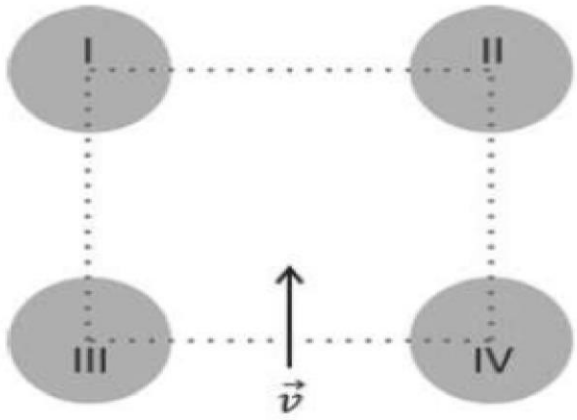


Figura III.7: Vestibular FUVEST-2016

Um feixe de elétrons adentrava a região delimitada no mesmo sentido e direção indicados pela seta na figura, entre as esferas III e IV, com velocidade $\vec{v}$.

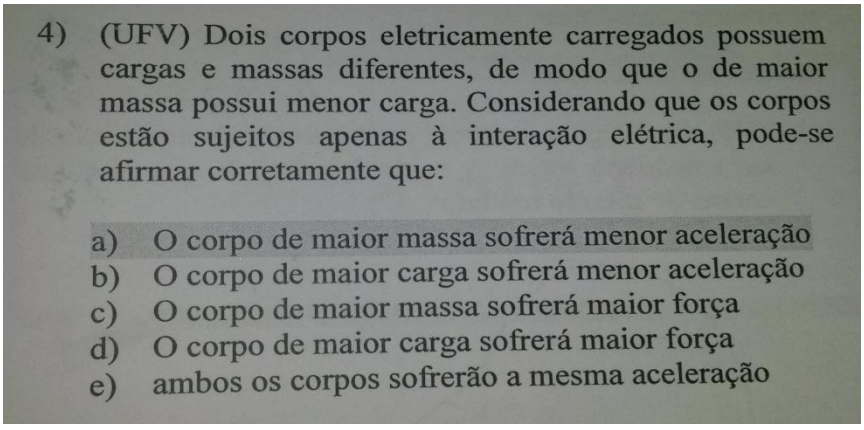
Na medida em que os elétrons se moviam em linha reta para cima, eles sofriam uma aceleração constante, aumentando a velocidade de seu movimento. Os alunos

tiveram dificuldades de entender que esse movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV) era o resultado de uma força resultante que atuava na mesma direção e sentido do movimento e que para isso ocorrer, as cargas de III e IV deveriam ser negativas e com o mesmo módulo (Q), para repelir os elétrons na direção de $\vec{v}$, enquanto que as da parte superior, I e II, deveriam ser positivas e de módulo Q também, para atraírem o feixe.

Para sanar as dúvidas e facilitar o entendimento, simulou-se o sentido da força resultante, substituindo as cargas pelas opções oferecidas em cada alternativa.

Quando eles viram que o vetor força tinha a direção que condizia com a do movimento também, e com a alternativa que estava de acordo com a hipótese descrita acima, a turma entendeu a dinâmica do movimento.

Nos demais exercícios resolvidos no primeiro tempo de aula, os alunos não apresentaram dúvidas ou qualquer outra dificuldade. Entretanto, numa questão que envolvia os conceitos de massa e carga elétrica, foi feita uma relação envolvendo o conceito de inércia e uma breve revisão dos princípios da dinâmica, por conta das dificuldades apresentadas no primeiro exercício, explorando um pouco mais a situação exposta no enunciado.



4) (UFV) Dois corpos eletricamente carregados possuem cargas e massas diferentes, de modo que o de maior massa possui menor carga. Considerando que os corpos estão sujeitos apenas à interação elétrica, pode-se afirmar corretamente que:

a) O corpo de maior massa sofrerá menor aceleração
b) O corpo de maior carga sofrerá menor aceleração
c) O corpo de maior massa sofrerá maior força
d) O corpo de maior carga sofrerá maior força
e) ambos os corpos sofrerão a mesma aceleração

Figura III.8: Exercício da Apostila

No segundo tempo, foram resolvidos outros dois exercícios sobre lei de Coulomb, mas que pertenciam ao grupo de questões de maior dificuldade da apostila, problemas que envolviam mais de uma classe de força, como a seguinte questão.

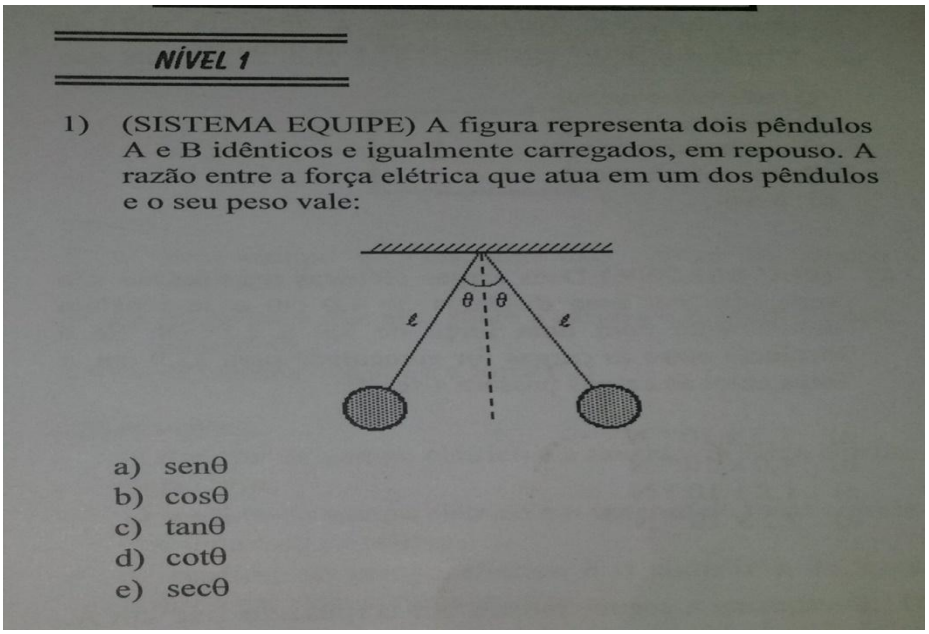


Figura III.9: Exercício da Apostila

Para se calcular a razão entre a força elétrica e a gravitacional, conforme pedia a questão, um dos pêndulos foi representado por um ponto e foi feito um diagrama de forças (representação de todas as forças com origem num único ponto representando o objeto).

A aluna Patrícia teve dificuldade em compreender a decomposição da tração, que tinha a mesma direção do fio, em função do ângulo θ. Para ajudá-la, foi desenhado no quadro um triângulo retângulo formado pela força de tração $\vec{T}$ exercida pelo fio, hipotenusa, e as suas componentes, vertical e horizontal, representando os catetos.

Com a explicação e a revisão da parte de decomposição de vetores, os alunos não apresentaram mais dificuldades e eles conseguiram, aparentemente, compreender os outros problemas.

III.7 Aula 7

Essa aula foi destinada a visitação da segunda turma ao museu, composta pelos demais alunos que não estiveram na primeira. O número de presentes foi 14.

Diferentemente da primeira visita, antes de começar o *tour* pelo museu, o curador esteve presente e conversou por alguns minutos com os alunos sobre a Energisa e as demais atividades promovidas pelo espaço. Contudo, a visita pelos ambientes foi conduzida novamente pelo professor.

Seguindo o mesmo cronograma da visitação da semana anterior, após a apresentação do museu e da empresa, os alunos foram conduzidos ao primeiro ambiente destinado à linha do tempo, que trata dos avanços tecnológicos e estudos científicos acerca da eletricidade. Mas, assim que chegamos à seção sobre a usina no Ribeirão do Inferno, em Diamantina, foi abordado com a turma a controvérsia sobre a primeira usina hidrelétrica brasileira ocorrida na última aula, envolvendo Marmelos em Juiz de Fora.

O professor explicou à turma que a usina de Diamantina tinha sua produção de energia elétrica destinada à extração de diamantes, enquanto que a juiz-forana foi a primeira a produzir e comercializar eletricidade, sendo fundada em 1888, cinco anos depois da localizada no Ribeirão do Inferno. Portanto, a primeira usina hidrelétrica a trabalhar a nível comercial.

Pode-se notar, em relação ao grupo anterior, que o interesse dos alunos pelo ambiente do museu era maior. Tanto que o professor se sentiu mais à vontade para fazer outros comentários como, por exemplo, a invenção do telefone e a relação com a profissão de Graham Bell, professor de técnica vocal.

Os alunos ficaram interessados pelos aparelhos medidores de potência, conforme se pode observar, alguns questionamentos sobre o gasto de certos eletrodomésticos e a eficiência energética de lâmpadas fluorescentes em relação às incandescentes também foram lembrados pelos alunos. Por conta desse tema, a aluna Mariana perguntou o porquê de uma lâmpada fluorescente ter uma eficiência luminosa maior, comparando com uma incandescente com o mesmo valor de potência. Foi descrito para eles o princípio de funcionamento das duas lâmpadas, assim como a ideia de intensidade de radiação por unidade de área.

No terceiro e quarto ambientes, destinados a contar a história da empresa e abordar outras formas de se produzir eletricidade, os alunos levantaram questões acerca de assuntos ambientais e os impactos causados no meio ambiente por cada tipo de usina. Isso pode ser observado na pergunta feita pelo o aluno Natanael sobre a energia nuclear ser considerada um tipo de energia “limpa” ou não.

Na segunda parte da aula, os alunos presentes nessa visita não demonstraram dificuldades em entender o conceito de indução e geração de corrente induzida, mas outras perguntas e comentários extras ao tema da indução foram feitos por eles.

A aluna Mariana, ao ver a simulação dos circuitos de corrente contínua e alternada e os gráficos da variação da corrente em relação ao tempo, fez uma pergunta sobre os efeitos do choque elétrico em uma pessoa que encosta numa cerca elétrica.

III.8 Aula 8

Os dois horários dessa aula foram usados para falar sobre campo elétrico e linhas de campo.

O assunto começou ser introduzido a partir da questão que envolve força elétrica e a ideia de ação à distância. Foi explicado aos alunos que a força é resultado da interação entre uma carga e o campo elétrico já existente no meio, responsável por transmitir a interação entre as cargas e por possuir um caráter vetorial, com módulo sentido e direção.

Para facilitar o entendimento da turma e determinar o campo elétrico atuando sobre uma carga de prova positiva e pontual, assim como a sua unidade de medida no Sistema Internacional de Unidades, foi feita uma analogia com o campo gravitacional e a força peso, conforme o quadro abaixo retirado dos slides apresentados pelo professor na aula.

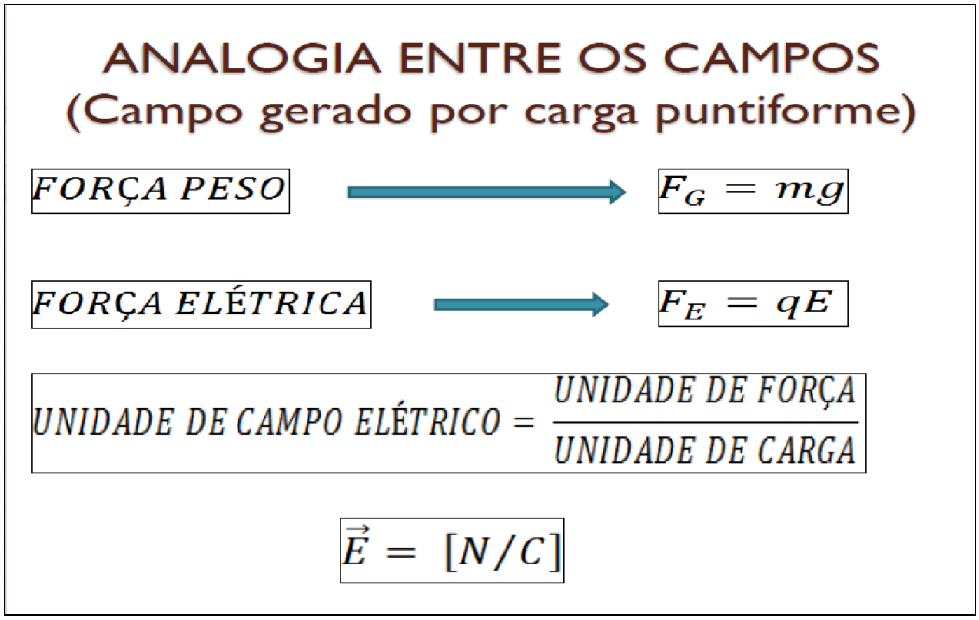


Figura III.10: Analogia entre os campos gravitacional e elétrico

Feita a analogia, o próximo passo foi explicar a direção e o sentido do campo elétrico em relação à força que atua na carga de prova, quando temos uma carga geradora que produz o campo, positiva e depois outra negativa.

Deixando claro sempre para a classe que a carga de prova não é responsável pelo campo, mas sim a carga geradora.

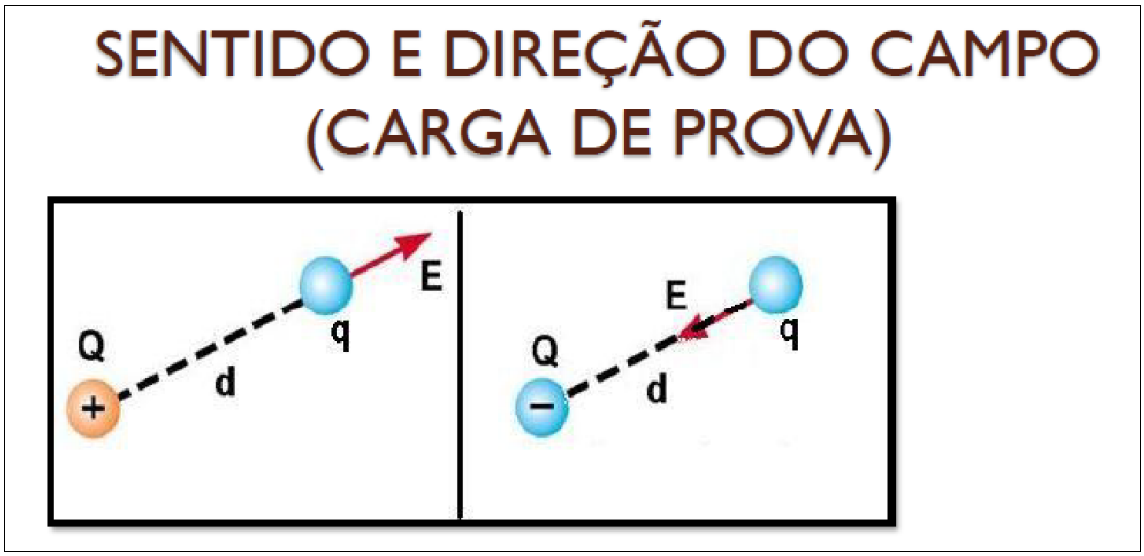


Figura III.11: Imagem utilizada no slide para ilustrar o sentido e a direção do campo com uma carga positiva e outra negativa.

Mesmo assim, entender que a carga de prova não tinha nada a ver com o campo elétrico, ou seja, que o campo existe sem ela, não foi de fácil compreensão para a turma. A saída encontrada pelo professor para explicar esse detalhe foi fazer uma analogia com o campo gravitacional e a diferença entre massa e peso.

Pegando como exemplo dois alunos, uma menina e um menino com pesos diferentes, fez-se um pequeno exercício com a sala. Primeiramente explicou-se que numa mesma região do planeta, o valor do campo gravitacional é aproximadamente o mesmo, então, para calcular o peso do garoto e da garota, bastaria multiplicar a massa de cada um deles pelo valor de “g” do local. Depois, foi dito à turma que o campo é gerado pela terra e não dependeria da massa do menino e nem da menina para existir, da mesma forma, a força elétrica que atua sobre uma carga de prova surge da interação entre ela e o campo elétrico gerado pela carga geradora e que, assim como no exemplo entre peso e massa, não depende de quem sofre a força.

No segundo horário de aula, os assuntos foram as linhas de campo e como o cientista inglês Michael Faraday concebeu a ideia para tentar resolver o problema da ação a distância e explicar como dois imãs ou dois corpos eletrizados interagem quando estão separados. Um problema em aberto para os cientistas da época.

Foram apresentados alguns trechos de manuscritos de Faraday sobre linhas de força, características das mesmas e as conclusões dele:

- as linhas de campo são contínuas ao longo de todo o espaço;

- o número de linhas de força numa região do espaço nos fornece qualitativamente a intensidade do campo elétrico;
- o campo é uma função de ponto tangente a linha.

Terminando a parte histórica, foi explicado como são utilizadas as linhas para determinar o sentido, a direção e a intensidade de um campo. Contudo, lembrou-se à turma que apesar de Faraday ter chamado as linhas de campo, na verdade, foi o cientista escocês, James Clarck Maxwel, responsável por uma definição mais precisa sobre campo elétrico e magnético.

Uma simulação do PHET também foi utilizada para mostrar o estudo do campo elétrico através das linhas.

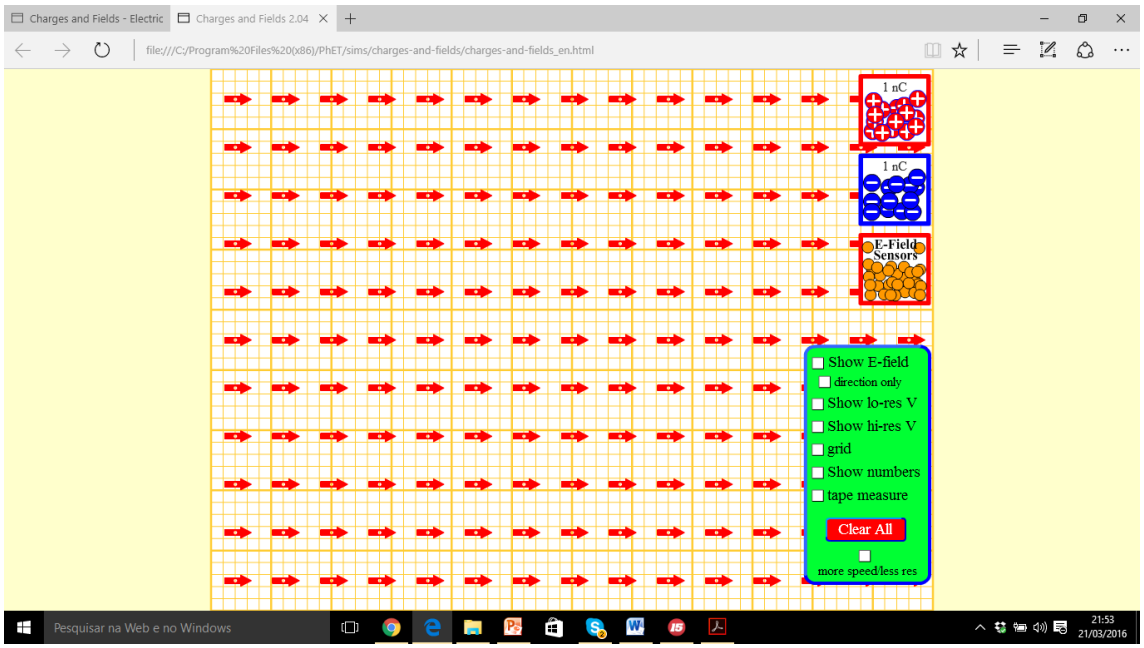


Figura III.12: Simulação Phet - Cargas e campos[25]

III.9 Aula 9

Os dois horários foram utilizados para terminar a explicação sobre campo elétrico e resolução de exercícios da apostila. O primeiro horário de aula começou com uma demonstração matemática para mostrar como o campo elétrico varia em função da distância da carga geradora, conforme a imagem abaixo.

[25] Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/charges-and-fields - acessado em 21 de fevereiro de 2016.

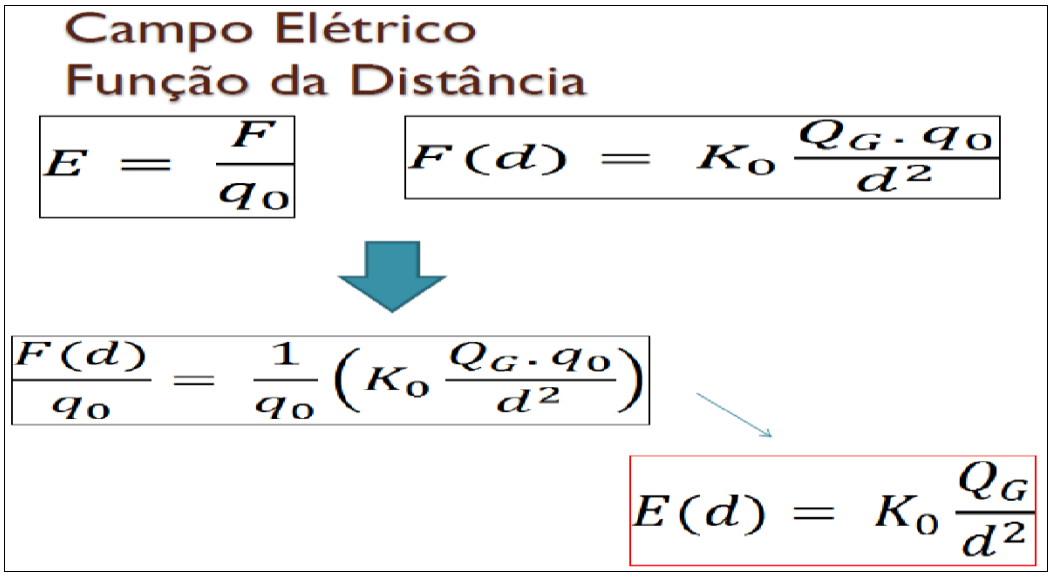


Figura III.13: Imagem do slide - demonstração do campo elétrico em função da distância

Na sequência, mostrou-se um gráfico do comportamento do campo de acordo com a distância, e situações nas quais o campo elétrico pode ser considerado uniforme.

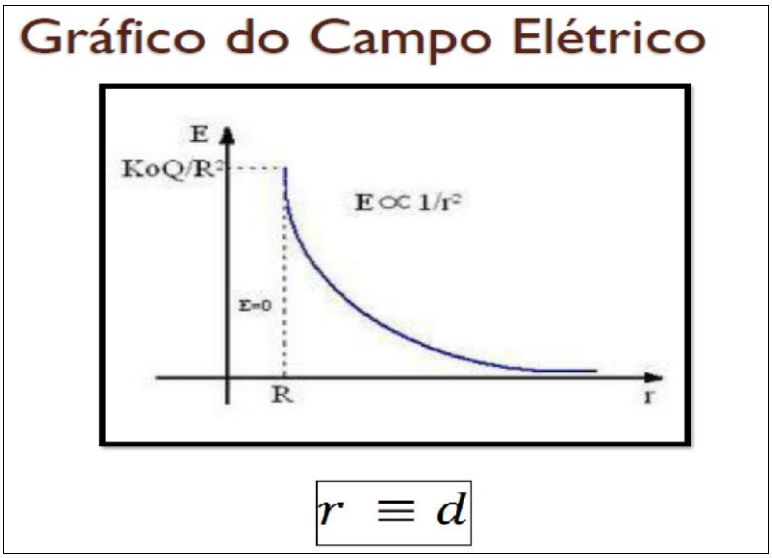


Figura III.14: Gráfico do Campo Elétrico em função da distância

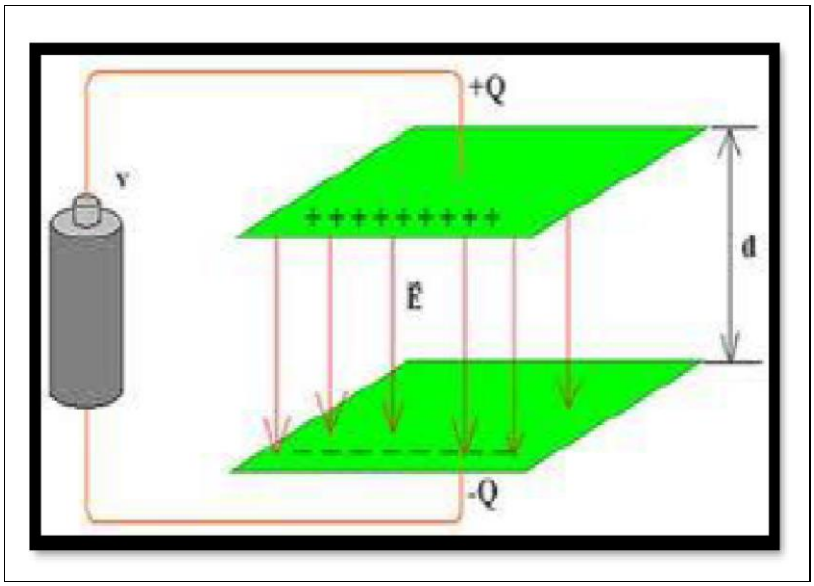
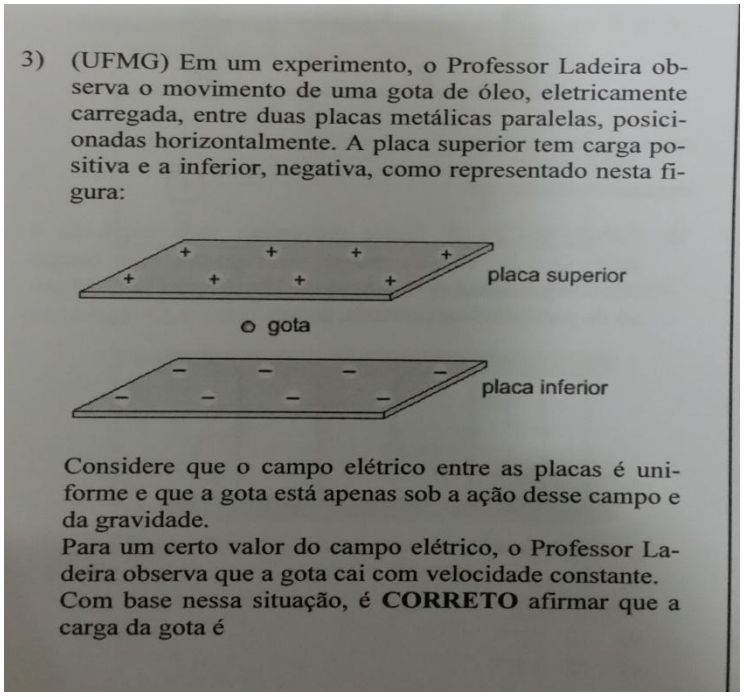


Figura III.15: Campo Elétrico Uniforme entre as placas de um capacitor - imagem usada nos slides

A maioria dos exercícios da apostila, resolvidos no final da primeira aula e no segundo tempo, tinha o enunciado relacionado com o experimento da “gota de Millikan”, cujo intuito era medir a carga do elétron com uma gotícula de óleo eletrizada e que se movia em equilíbrio dinâmico numa região onde havia um campo elétrico que poderia ser ajustado pelo operador do equipamento do experimento.


3) (UFMG) Em um experimento, o Professor Ladeira observa o movimento de uma gota de óleo, eletricamente carregada, entre duas placas metálicas paralelas, posicionadas horizontalmente. A placa superior tem carga positiva e a inferior, negativa, como representado nesta figura:

placa superior

o gota

placa inferior

Considere que o campo elétrico entre as placas é uniforme e que a gota está apenas sob a ação desse campo e da gravidade.
Para um certo valor do campo elétrico, o Professor Ladeira observa que a gota cai com velocidade constante.
Com base nessa situação, é **CORRETO** afirmar que a carga da gota é

Figura III. 16: Enunciado de Exercício da Apostila

Em exercícios nos quais uma partícula se movia numa região com um campo elétrico em equilíbrio dinâmico, a turma apresentou dificuldade em visualizar a situação. Para a grande maioria, conforme observado, se duas forças, como o peso e a elétrica (as únicas consideradas nos problemas), atuando com um mesmo módulo, direção e sentidos opostos, a partícula deveria ficar em repouso e não poderia se movimentar mesmo se estivesse com velocidade constante num certo referencial.

Para sanar esse tipo de dúvida, o professor fez uma revisão sobre a primeira e a segunda lei de Newton, referenciais inerciais e explicou a noção de equilíbrio de uma partícula. A partir daí, os alunos conseguiram entender a situação proposta nesses exercícios e a diferença entre equilíbrio estático (partícula em repouso em certo referencial) e equilíbrio dinâmico (no qual ela se move com velocidade constante, ou seja, em movimento retilíneo e uniforme).

O equilíbrio dinâmico foi explicado com a ajuda de uma questão do Enem de 2013[26], envolvendo um paraquedista e pedia para marcar qual gráfico representava a variação da velocidade com o tempo.

Esse exemplo foi usado, porque o peso do paraquedista era igualado com uma força vertical e pra cima no momento em que o paraquedas era aberto. Depois disso, ele passava a descer com velocidade constante. Um exemplo de equilíbrio dinâmico.

III.10 Aula 10

Apesar de ter sido numa quarta, essa aula aconteceu no período regular em caráter de reposição, pois, na semana anterior, o professor não pode ir por estar com dengue e repôs a aula no lugar do professor de Biologia que o havia substituído enquanto esteve doente.

O pós-teste foi aplicado no segundo horário e no primeiro foram trabalhados os seguintes temas:

- Cargas elétricas na superfície de um condutor;
- Campo elétrico dentro de um condutor;
- Ligação metálica e a composição química dos condutores elétricos;
- Lei de Gauss e fluxo de linhas de campo;
- Funcionamento dos para-raios;
- Poder das pontas;
- Blindagem eletrostática.

[26] ENEM 2013 - Questão 87 Azul -- 79 Amarela - 49 Rosa - 77 Branca -- Física

Um detalhe importante é o fato de a Lei de Gauss, uma das quatro equações de Maxwell, não fazer parte da ementa de eletrostática da apostila e do ensino médio de forma geral. Mesmo assim, ela foi explicada nessa aula de forma qualitativa, sem o rigor matemático com o qual ela é ensinada nos cursos de ensino superior.

A Lei de Gauss permitiu que os alunos compreendessem que após as cargas se alojarem na superfície externa de um condutor, dentro dele, o campo elétrico era nulo. Um resultado comentado nas primeiras aulas, mas que com a Lei de Gauss, pode ser demonstrado.

Como um dos assuntos da aula foi o para-raios, explicou-se o fato de um motorista ficar seguro durante uma tempestade enquanto permanece dentro do seu carro, já que uma descarga elétrica passaria através da carroceria, feita de aço ou de outro material condutor, e descarregaria na terra passando por último pelos pneus.

Esse último detalhe, apesar dos pneus serem feitos de um material isolante, foi explicado nas primeiras aulas quando o assunto era a permissividade elétrica e a quebra de rigidez dielétrica de determinada substância. Por isso a turma não estranhou o fato dos pneus conduzirem eletricidade nesse tipo de situação.

Capítulo IV – Resultados

Esse capítulo tem o intuito de apresentar os resultados do questionário de sondagem (pré e pós), aplicado no primeiro e no último dia de atividades da pesquisa em sala de aula; além do desempenho da classe nos testes periódicos, elaborados pelo professor com um peso de trinta por cento na nota bimestral (seis pontos), aplicadas pela própria escola junto com testes de outras disciplinas, e que foram realizadas durante o período que ocorreu a pesquisa. O valor total da pontuação do bimestre é igual a vinte.

As avaliações foram organizadas da seguinte maneira: 1) o pré e o pós-teste sobre eletrostática contendo seis questões de múltipla escolha e uma aberta, com duas outras perguntas, “a” e “b”, para serem respondidas; 2) os testes quinzenais, compostos sempre por três questões fechadas, duas valendo um ponto e uma valendo dois, e uma aberta (dois pontos); e que cobraram os seguintes conteúdos:

1) Primeiro Teste (26/02/16) - Conteúdo: Eletrização e Lei de Coulomb;
2) Segundo Teste (11/03/216) - Conteúdo: Campo Elétrico e Linhas de Campo.

Os resultados da sondagem foram organizados sob a forma de tabelas, contando o número de vezes que cada alternativa na parte fechada foi escolhida, com o percentual de acerto para comparar os resultados antes e depois. Sendo que no primeiro dia 26 alunos responderam e no último, um número maior, 31.

As instituições, cujos processos seletivos serviram como base para as questões da sondagem, estão listadas a seguir:

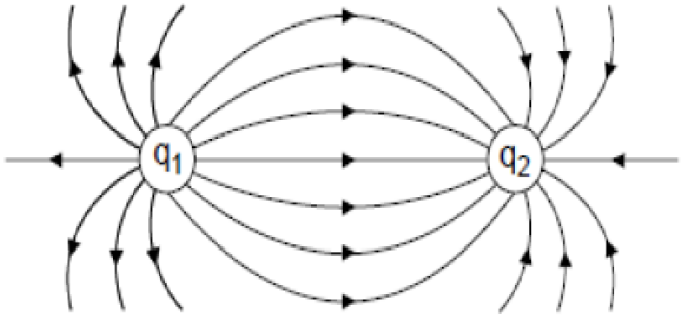
1) Faculdade de Medicina de Itajubá - MG;
2) Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF - MG);
3) Universidade Metodista de Piracicaba - SP;
4) Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF - MG);
5) Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP - MG);
6) Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF - MG);
7) Universidade Federal Rural de Rio de Janeiro (UFRRJ).

Na parte aberta, contou-se o número de respostas “corretas”, “erradas” e “imprecisas”; respostas que não estavam coerentes e divergiam em parte das tidas como certas, ou seja, não estavam completas e não respondiam ao que estava sendo

pedido pela questão. Por exemplo, na letra “a” pedia-se para identificar qual era a carga positiva e qual a negativa mediante a interpretação das linhas de campo entre “q_1” e “q_2”. Se o aluno respondeu que havia uma carga de cada sinal, mas não identificou qual era a “+” e qual era a “-“, essa resposta foi tida como “imprecisa”. O mesmo procedimento foi feito na “b”. Caso alguém estivesse respondido que a força era de atração e não justificou o porquê, a resposta foi tida como incompleta e contada também como “imprecisa”.

A justificativa para usar o mesmo teste como parte da avaliação de aprendizagem se baseia na necessidade de se ter um único instrumento e evitar a busca por novas questões com níveis diferentes de exigência. Essas sugestões são feitas pelo *International Training and Education Center for Health*.

7) A figura abaixo mostra duas cargas q1 e q2, afastadas a uma distância **d**, e as linhas de campo do campo eletrostático criado.



Observando a figura acima, responda:

a) quais os sinais de cargas q1 e q2?

b) a força eletrostática entre as cargas é de repulsão? Justifique.

Figura IV.1: Questão aberta do questionário de sondagem

Já as notas dos alunos nos testes do dia 26 de fevereiro e 11 de março foram distribuídas em “intervalos de notas” de “0 a 2”, “2,1 a 4” e de “4,1 a 6”, para obtermos um parâmetro do desempenho acadêmico dos alunos.

IV.1 Pré e pós-teste

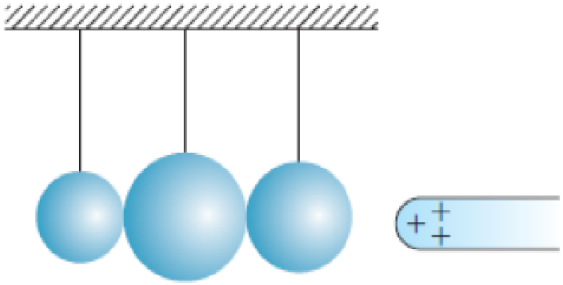
Conforme observado após a coleta dos dados, os resultados do pós-teste mostraram uma melhora de desempenho da turma em relação ao pré-teste, com apenas um único resultado negativo na terceira questão. Entretanto, tanto no primeiro

quanto no segundo teste, o percentual de acerto dessa mesma questão foi alto, sendo que apenas um único aluno a errou no pós, tendo 100% de acerto pela turma no pré.

Nas questões 4 e 5, que também tiveram resultados positivos em relação ao pré, o percentual de acerto ainda foi baixo, com valores menores que quarenta por cento.

A questão quatro, mostrada abaixo, era um exercício que envolvia o conceito de eletrização por indução. As respostas ficaram divididas entre as alternativas “a”, “b” e “d” no primeiro, e a letra “c”, a correta, tendo o menor número de escolhas. Já na segunda vez, os acertos saíram da casa dos quinze por cento do pré-teste e foram para aproximadamente trinta e dois por cento, a maioria (10 de 31), enquanto que as alternativas “b” e “e” tiveram o mesmo número de escolhas, nove.

4) Três esferas metálicas neutras, eletricamente isoladas do ambiente, estão encostadas umas nas outras com seus centros alinhados. Carrega- se um dos extremos de um bastão de vidro positivamente. Este extremo carregado é aproximado a uma das esferas ao longo da linha formada por seus centros (veja a figura abaixo para uma ilustração).



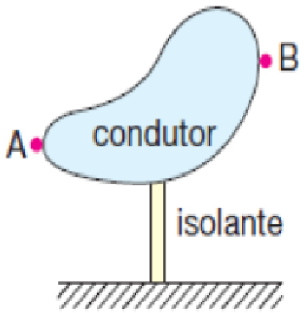
Podemos afirmar que após afastar-se o bastão, as esferas ficam:

a) duas delas com carga positiva e uma com carga negativa
b) duas delas neutras e uma com carga positiva
c) uma neutra, uma com carga positiva e uma com carga negativa
d) duas neutras e uma com carga negativa

Figura IV.2: Questão quatro do questionário de sondagem

No número 5, questão mostrada a seguir, os alunos ficaram divididos entre as alternativas “b” e “e”, em ambos os testes. Contudo, no segundo, o número de alunos que escolheram a alternativa correta “e”, aumentou, passando de 26,92% para 38,71%, enquanto os que escolheram a letra “b” diminuíram de nove para oito, mas ainda assim mantendo próxima a quantidade de vezes que essas alternativas foram escolhidas.

5) O condutor da figura, isolado e em equilíbrio eletrostático, está carregado com uma carga Q positiva.



Considere as seguintes afirmativas:

I. O campo elétrico no interior do condutor é zero.
II. O campo elétrico nos pontos externos está orientado para fora do condutor.
III. O módulo do campo elétrico no ponto *A* é maior do que no ponto *B* (*A* e *B* são pontos infinitamente próximos do condutor).

Marque a alternativa correta.

a)Apenas I é verdadeira.
b)Apenas I e II são verdadeiras.
c)Apenas II e III são verdadeiras.
d)Apenas III e I são verdadeiras.
e)Todas as afirmativas são verdadeiras.

Figura IV.3: Questão 5 questionário de sondagem

O interessante é que as duas questões têm em comum situações que envolvem condutores assimétricos eletrizados. Logo, para responder de forma correta às questões, o aluno deveria ter um entendimento sobre “poder das pontas”, e como as cargas elétricas tendem a se acumular em maior quantidade nas regiões de menor raio em um condutor após o equilíbrio eletrostático. Isso mostrou que o conceito precisará ser mais bem trabalhado, apesar dele ter sido abordado com diferentes exemplos ao longo do curso, como pode ser visto em algumas situações relatadas nos diários de campo sobre as atividades realizadas nas aulas do período regular e de monitoria.

Fazer o cálculo da porcentagem de acertos permitiu comparar os resultados, já que o número de alunos que responderam ao questionário no primeiro dia foi diferente do último, e eles podem ser vistos juntos no seguinte gráfico:

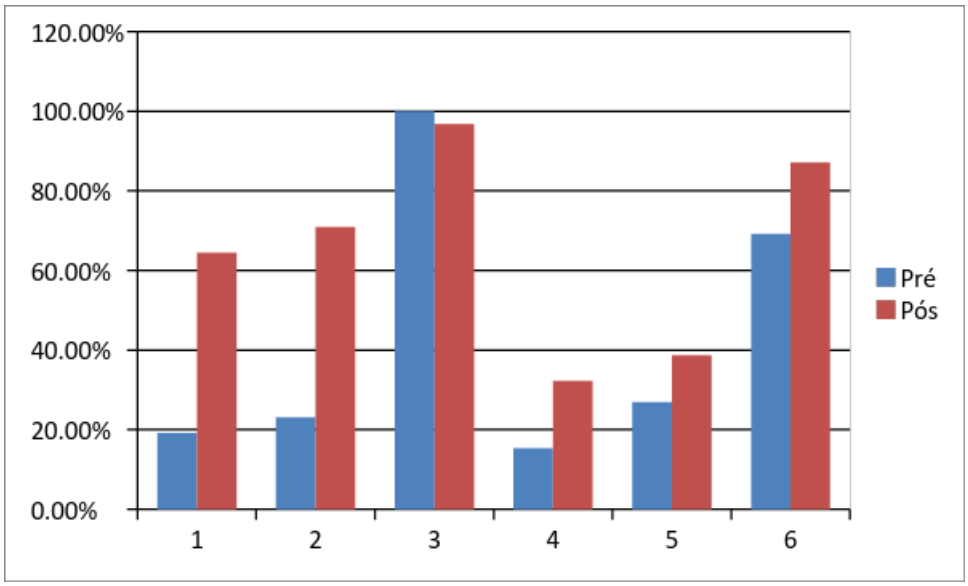


Gráfico IV.1: Resultados do pré e do pós-teste

Abaixo estão as tabelas com os resultados das questões de múltipla escolha do pré e do pós-teste. Em amarelo estão as alternativas corretas e na coluna da direita o porcentual de acerto.

1) Pré-teste

N° DE VEZES QUE UMA ALTERNATIVA FOI ESCOLHIDA						
	A	B	C	D	E	% de Acerto
1	5	5	5	4	7	**19,23%**
2	14	6	6			**23,07%**
3			26			**100%**
4	6	9	4	7		**15,38%**
5	3	9	3	4	7	**26,92%**
6	1	3	18	4		**69,23%**

Tabela IV.1: Resultado do Pré-teste (Múltipla Escolha)

2) Pós-teste

N° DE VEZES QUE UMA ALTERNATIVA FOI ESCOLHIDA						
	A	B	C	D	E	% de Acerto
1	2	20	6	2	1	**64,52%**
2	6	3	22			**70,97%**
3		1	30			**96,77%**
4	2	9	10	9		**32,26%**
5	3	8	2	5	12	**38,71%**
6	2	1	27			**87,10%**

Tabela IV.2: Resultado do pós-teste (Múltipla Escolha)[27]

[27] Por algum motivo, um dos alunos que respondeu o pós-teste deixou em branco as questões 4,5 e 6 e não colocou o nome no local reservado inviabilizando a sua identificação.

IV.2 Questão aberta do questionário de sondagem

Os resultados da questão aberta do questionário de sondagem também apresentaram melhoras em relação ao pré-teste, sendo organizados em planilhas e gráficos de “pizza” com o número de “certas”, “erradas” e “imprecisas”, como o porcentual de cada tipo de resposta nas letras “a” e “b”.

A utilidade desses tipos de gráficos nessa situação, justificando a sua construção, é que as cores e formas são melhores para a visualização do leitor e servem de auxílio para uma leitura qualitativa das próprias tabelas. Portanto, seguem tanto as tabelas quanto os gráficos das questões “a” e “b” da parte aberta. Antes, porém, dois gráficos de linhas que comparam os resultados do pré e do pós-teste, estando em vermelho o segundo questionário de sondagem e em azul, o primeiro, conforme foi descrito acima e representado pelas legendas. Ambos demonstram a melhora significativa dos resultados da turma, com um aumento no número de acertos e uma diminuição de respostas “erradas” e “imprecisas” nas letras “a” e “b”.

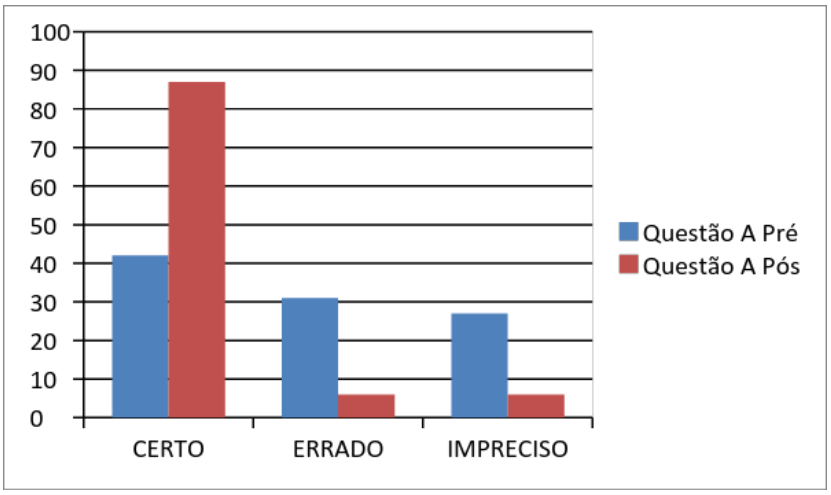


Gráfico IV.2: Comparação dos resultados do pré e pós-teste - Letra A

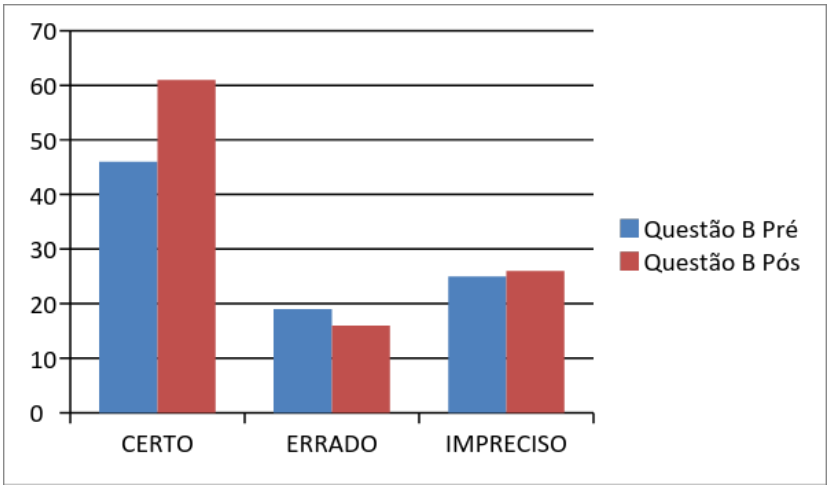


Gráfico IV.3: Comparação dos resultados do pré e pós-teste - Letra B

1) Pré-teste

Questão 7			
	CERTO	ERRADO	Imprecisas
A	11	8	7
B	12	5	9

Tabela IV.3: Resultado Pré-teste

Questão 7 (Porcentual)			
	CERTO	ERRADO	Imprecisas
A	42%	31%	27%
B	46%	19%	35%

Tabela IV.4: Resultado Pré-teste (Porcentual)

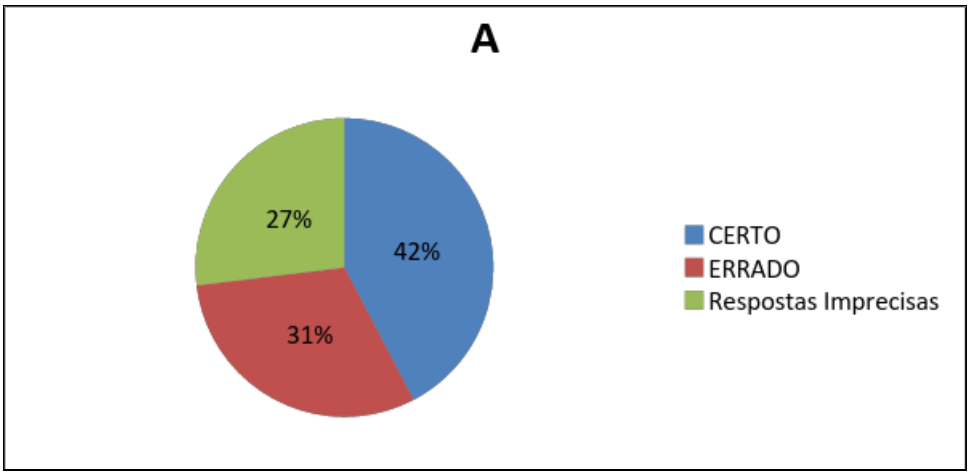


Gráfico IV.4: Resultado pré-teste - letra A

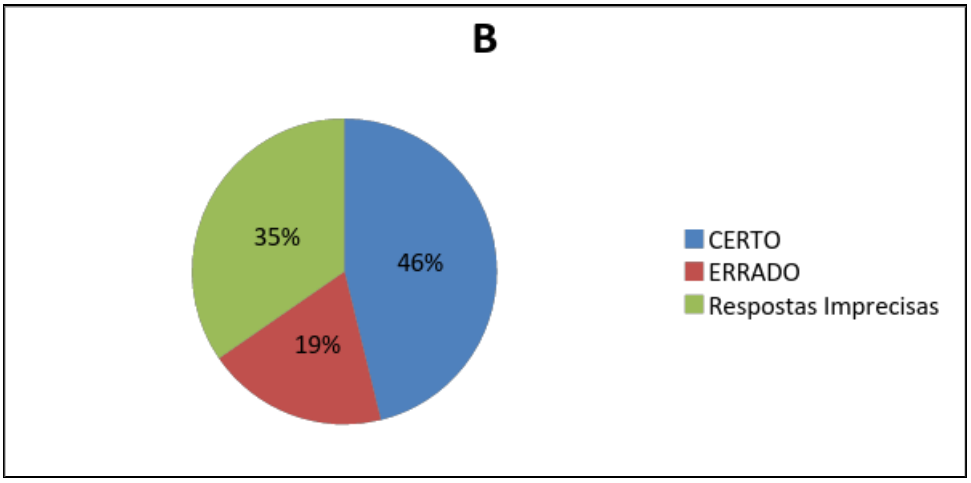


Gráfico IV.5: Resultado pré-teste - Letra B

2) Pós-teste

Questão 7			
	CERTO	ERRADO	Imprecisas
A	27	2	2
B	19	5	8

Tabela IV.5: Resultado pós-teste

Questão 7 (Porcentual)			
	CERTO	ERRADO	Imprecisas
A	87%	6%	6%
B	61%	16%	26%

Tabela IV.6: Resultado pós-teste (porcentual)

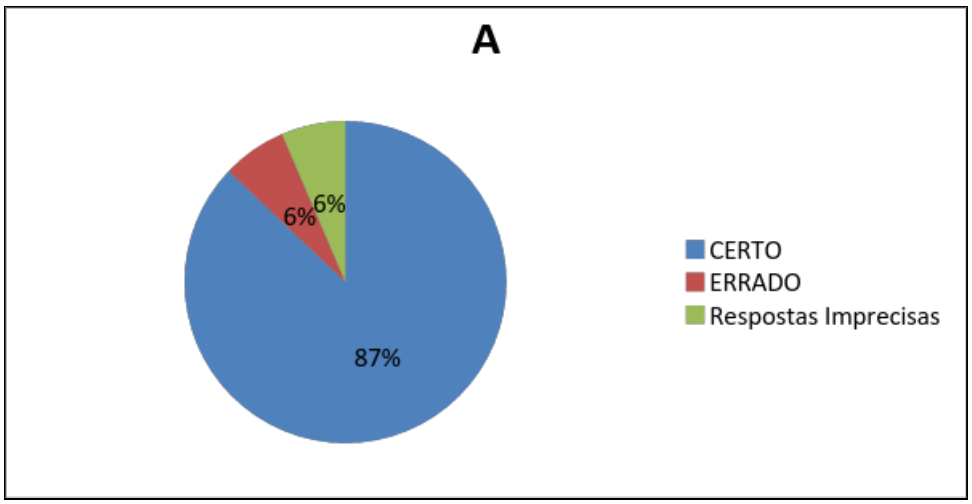


Gráfico IV.6: Resultado pós-teste - Letra A

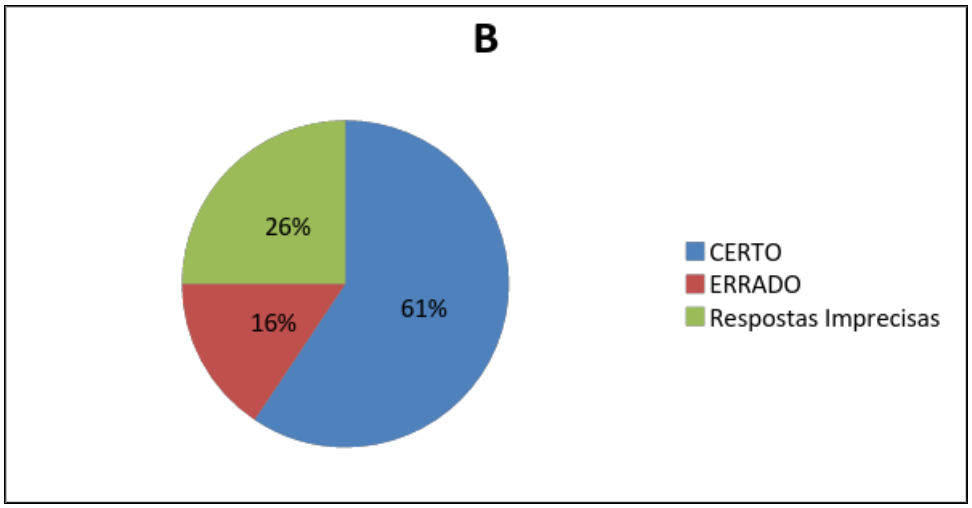


Gráfico IV.7: Resultado pós-teste - Letra B

IV.3 Testes

A escolha dos “testinhos”, como são chamadas pelos alunos e professores essas provas aplicadas periodicamente, se deu pelo fato delas ocorrerem durante o curso e por serem elaboradas pelo próprio docente responsável pela disciplina.

Na verdade, as disciplinas são divididas pelo colégio em dois setores de oito matérias cada, A e B, e todas as sextas-feiras os alunos fazem as provas de um dos grupos. Dessa maneira, a prova de Física, que pertence ao segundo agrupamento, o B, acontece a cada duas semanas.

As questões escolhidas para o teste também foram tiradas de outros exames de seleção para admissão em instituições de curso superior, como foi feito na elaboração do questionário de sondagem, porém com um nível de dificuldade maior para os alunos serem testados em avaliações com diferentes graus de exigência.

Na sequência, estão os resultados dos alunos no primeiro (Eletrização e Lei de Coulmb) e no segundo teste (Campo Elétrico e Linhas de Força), dispostos em uma tabela, separados em “intervalos de notas”, estando na primeira o número de alunos em cada intervalo e na segunda o cálculo da porcentagem da distribuição de estudantes nos respectivos grupos de notas.

O número de alunos que fizeram o primeiro teste foi 33 e no segundo foram 32. A média das notas da prova do dia 26 de fevereiro foi 2,44 e na de 11 de março 1,53.

Intervalo das Notas	Eletrização e Lei de Columb (Teste 1)	Campo Elétrico e Linhas de Força (Teste 2)
0 a 2	14	25
2,1 a 4	15	4
4,1 a 6	4	3

Tabela IV.7: Resultados dos Testes

Intervalo das Notas	Valor % Primeiro	Valor % Segundo
0 a 2	42,42	78,12
2,1 a 4	45,45	12,5
4,1 a 6	12,12	9,38

Tabela IV.8: Resultados dos Testes (Valor em Porcentagem)

Com os dados colhidos, foi montado um gráfico que mostra o resultado da turma em ambos os testes. Nota-se que o desempenho na prova sobre Eletrização e Lei de Coulomb foi melhor que na de Campo Elétrico e Linhas de Força. A quantidade de alunos que tirou entre 2,1 e 4 pontos caiu da casa dos 45% para 12,5% no segundo, enquanto que os que tiraram entre 0 e 2 aumentou cerca de 36%. Mesmo

assim, de maneira geral, os resultados foram negativos, com poucos alunos tendo uma nota superior a 4,1 pontos nos dois testes e as médias delas sendo menor que três nas duas provas. Os comparativos estão exibidos nos gráfico abaixo:

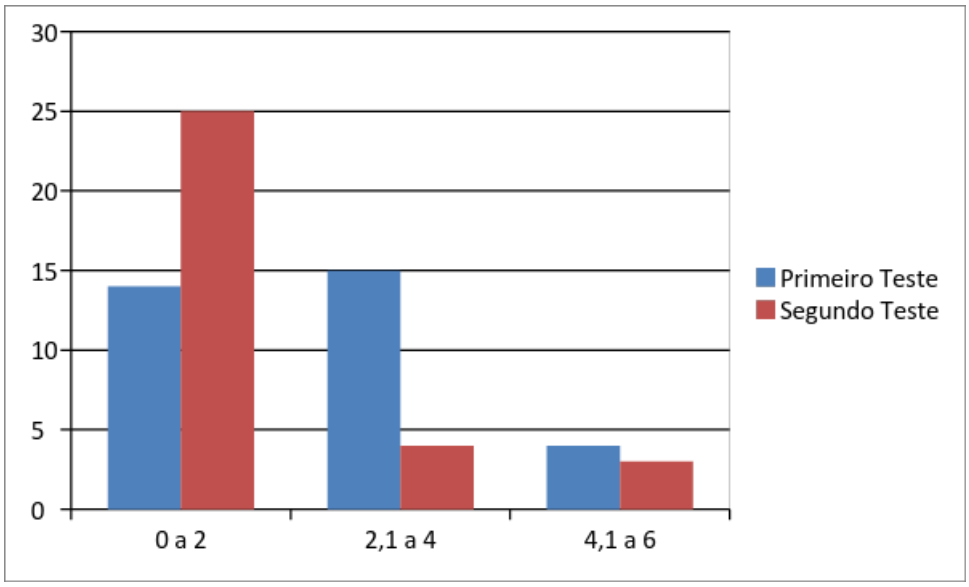


Gráfico IV.8: Resultados do Primeiro e do Segundo Teste

Um dos fatores que podem explicar esse desempenho ruim nas provas do colégio por parte da turma é o fato delas serem realizadas junto com testes de outras disciplinas e os alunos terem duas horas e meia, apenas, para fazer as oito provas. Começando às dez da manhã e terminando meio dia e trinta. Nos dias em que foi aplicado o questionário de sondagem, os alunos tiveram um tempo maior, cinquenta minutos, enquanto que nas provas de sexta, pegando o tempo de duração do exame e dividindo pelo número de disciplinas, cada aluno teria aproximadamente dezenove minutos para fazer cada teste.

Outro ponto importante que deve ser levado em consideração para a análise de dados é que o questionário de sondagem não teve peso na nota. Apenas no pós-teste foram oferecidos dois pontos extras, com a ideia de motivar a turma a responder o questionário novamente, sem ter o potencial de prejudicar a nota bimestral.

Contudo, o tempo e a maneira como as provas semanais são aplicadas não podem ser os únicos pontos para explicar o mau desempenho da turma. As questões que estavam nos “testinhos” apresentavam o nível de dificuldade maior que o questionário de sondagem, envolvendo conceitos de mecânica (cinemática e dinâmica) semelhante a alguns exercícios da apostila feitos em sala, conforme pode ser visto nos diários de campo no capítulo V e relatado na aula de “Quinta-feira, 25 de fevereiro de 2016”, por exemplo.

Nas aulas de exercícios, toda vez que era exposto um problema de um corpo eletrizado em equilíbrio com forças de outra natureza, os alunos apresentaram dificuldades de compreensão, por contas das dúvidas acerca das Leis de Newton e demais conceitos de mecânica, como partículas em equilíbrio dinâmico (movimento retilíneo uniforme) e equilíbrio estático (repouso). Isso pode ser visto na aula do dia 10 de março, descrita também nos Diários de Campo, no qual a turma teve dificuldade de visualizar e compreender o experimento da "gota de Millikan", em que uma gota portando carga elétrica se movia em velocidade constante numa região entre duas placas, uma positiva e outra negativa, cujo campo elétrico era uniforme e a força elétrica atuando sobre ela se anulava com o seu peso.

Em relação ao nível dos testes, os alunos foram avisados que a cobrança seria maior do que foi feito nos dois anos anteriores, com o intuito não de prejudicá-los, mas sim de fazer um trabalho voltado para o ENEM, prova que não obedece a um padrão e que a cada ano apresenta um nível de dificuldade diferente, e outros vestibulares tidos como mais "complicados", cujo grau de exigência feito ao aluno é maior, como é o caso da Fundação Universitária para o Vestibular (FUVEST). Para exemplificar essa característica do Brasil de ter exames de seleção em diferentes níveis, cita-se o professor Alexandre Sasaki, do curso Poliedro de São Paulo, em entrevista ao site "Universia Brasil", que comparou a prova de Física do ENEM de 2015 com a FUVEST[28]. Outros exemplos são dados, com comentários parecidos de professores em relação à prova de Matemática e Português, também do ano passado, como é o caso de Daily Matos (curso Objetivo) à Folha de São Paulo:

> *"A prova de hoje foi muito mais difícil. Matemática, por exemplo, nunca tinha concentrado dez questões nível Fuvest, como aconteceu hoje. Eram poucas as questões com respostas imediatas. Português não ficou atrás. Foi uma prova cansativa, estressante, extenuante."* (FOLHA DE SÃO PAULO, 25 de outubro de 2015)[29]

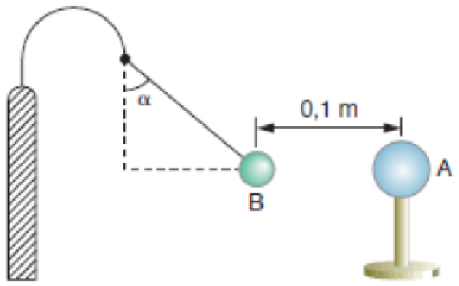
Além disso, todas as avaliações foram corrigidas em sala, com os erros mais corriqueiros sendo comentados.

Abaixo estão duas questões, uma de cada teste, envolvendo conceitos de mecânica e eletrostática:

[28] Entrevista disponível em: http://noticias.unVersia.com.br/destaque/noticia/2015/10/24/1132834/prova-fisica-enem-nVel-fuvest-diz-professor.html. Acessado em: 11 de abril de 2016.

[29] Disponível em: http://www1.folha.uol.com.br/educacao/2015/10/1698431-enem-volta-a-ter-prova-dificil-e-longa-no-segundo-dia-dizem-professores.shtml. Acessado em: 11 de abril de 2016.

3) (UFOP-MG) A figura mostra a configuração de equilíbrio de uma pequena esfera *A* e um pêndulo *B* que possuem cargas de mesmo módulo.



a) O que pode ser afirmado sobre os sinais das cargas de *A* e *B*?

b) Se $\text{tg}\,\alpha = \frac{4}{3}$ e a massa de *B* é 0,1 kg, determine os módulos das cargas de *A* e *B*.

(Dados: aceleração da gravidade $g = 10\ m/s^2$; $k_0 = 9 \cdot 10^9\ N \cdot m^2/C^2$)

Figura IV.4: Questão 3 do teste de Eletrização e Lei de Coulomb - Objeto eletrizado em equilíbrio

3) (Vunesp) Uma partícula de massa **m** e carga **q** é liberada, a partir do repouso, num campo elétrico uniforme de intensidade **E**. Supondo que a partícula esteja sujeita exclusivamente à ação do campo elétrico, a velocidade que atingirá **t** segundos depois de ter sido liberada será dada por:

a) $\frac{qEt}{m}$. c) $\frac{qmt}{E}$. e) $\frac{t}{qmE}$.

b) $\frac{mt}{qE}$. d) $\frac{Et}{qm}$.

Figura IV.5: Questão 3 do teste de Campo Elétrico e Linhas de Campo - partícula em movimento retilíneo uniformemente variado (aceleração constante)

Essa postura foi tomada, pois nos anos anteriores, os “testinhos” tinham um peso de cinquenta por cento da nota bimestral, porém, por uma determinação da direção pedagógica, as provas semanais passaram a ter um peso menor, tirando do professor o peso pela aprovação ou reprovação do aluno, já que as demais avaliações são elaboradas pela matriz e enviadas para os demais colégios que formam a rede da instituição, para serem aplicadas sob a forma de simulados e outras provas de múltipla escolha.

Ademais, a visita ao museu e a participação das aulas foram avaliadas sob a forma de conceito, tendo um valor de quatro pontos para serem distribuídos.

É interessante citar, que a própria escola tem um programa chamado de “Resgate de Conteúdo” para os alunos que tiveram rendimento abaixo de sessenta por cento no bimestre. O objetivo do resgate, como sugere o próprio nome, é que os alunos com nota baixa tenham aulas com o professor de revisão de conteúdo antes da prova de recuperação. Dessa maneira, o aluno teria uma chance de melhorar a sua média ainda durante o ano, além de reforçar os conceitos abordados em sala.

Mediante tais circunstâncias, uma pergunta deve ser feita: Os resultados negativos dos “testinhos” com questões mais difíceis invalidariam os resultados positivos da sondagem?

A resposta é não.

Para reafirmar os bons resultados do pré e pós-teste, o simulado pré-ENEM de Ciências da Natureza e suas Tecnologias aplicado aos alunos pode servir de parâmetro. O exame ocorrido nos finais de semana dos dias 02 e 03 de abril trouxeram questões sobre a parte de eletricidade com um nível de dificuldade próximo ao questionário de sondagem.

Portanto, os alunos demonstraram ter tido uma melhora da aprendizagem dos conceitos básicos da matéria, resultado indicado pela sondagem, apesar dos resultados nas provas semanais, estando aptos para fazer as avaliações da rede com a perspectiva de ter um bom rendimento, tanto nas avaliações do colégio, quanto nos vestibulares de acordo com a visão de quem elaborou as questões para o simulado.

A seguir estão disponíveis o questionário de sondagem (pré e pós), os dois “testinhos” no valor de 6 pontos cada e o simulado de Ciências da Natureza e suas Tecnologias da rede de ensino.

IV.4 Questionário de Sondagem (Pré e Pós)

1) Duas cargas elétricas q1 e q2 se atraem com uma força F. Para que esta força seja 16 (dezesseis) vezes maior, a nova distância entre as cargas q1 e q2 deverá ser:

a) Quatro vezes maior.

b) Quatro vezes menor.

c) Dezesseis vezes maior.

d) Oito vezes maior.

e) Oito vezes menor.

2) Duas esferas igualmente carregadas, no vácuo, se repelem mutuamente quando separadas a uma certa distância. Triplicando-se a distância entre as esferas, a força de repulsão entre elas torna-se:

a) Três vezes menor
b) Seis vezes menor
c) Nove vezes menor
d) Doze vezes menor
e) Nenhuma das anteriores

3) Analise as afirmações abaixo:

I. Cargas elétricas de sinais diferentes se repelem.

II. Cargas elétricas de mesmo sinal se repelem.

III. Cargas elétricas de sinais diferentes se atraem.

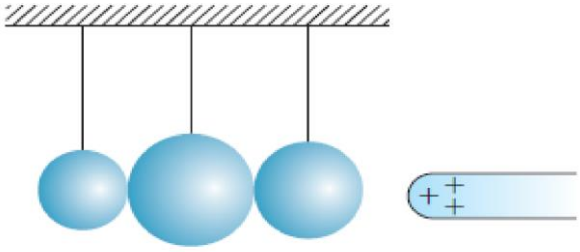
V. A carga elétrica dos corpos são múltiplos e submúltiplos da carga do elétron.

V. A carga elétrica dos corpos só pode ser múltiplo inteiro do valor da carga do elétron.

Estão corretas as afirmativas:

a) I, II e III
b) I, III e V
c) II, III e V
d) III, V e V
e) I, V e V

4) Três esferas metálicas neutras, eletricamente isoladas do ambiente, estão encostadas umas nas outras com seus centros alinhados. Carrega- se um dos extremos de um bastão de vidro positivamente. Este extremo carregado é aproximado a uma das esferas ao longo da linha formada por seus centros (veja a figura abaixo para uma ilustração).



Podemos afirmar que após afastar-se o bastão, as esferas ficam:

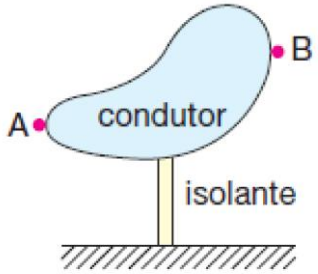
a) duas delas com carga positiva e uma com carga negativa

b) duas delas neutras e uma com carga positiva

c) uma neutra, uma com carga positiva e uma com carga negativa

d) duas neutras e uma com carga negativa

5) O condutor da figura, isolado e em equilíbrio eletrostático, está carregado com uma carga Q positiva.



Considere as seguintes afirmativas:

I. O campo elétrico no interior do condutor é zero.

II. O campo elétrico nos pontos externos está orientado para fora do condutor.

III. O módulo do campo elétrico no ponto *A* é maior do que no ponto *B* (*A* e *B* são pontos infinitamente próximos do condutor).

Marque a alternativa correta.

a)Apenas I é verdadeira.

b)Apenas I e II são verdadeiras.

c)Apenas II e III são verdadeiras.

d)Apenas III e I são verdadeiras.

e)Todas as afirmativas são verdadeiras.

6) Uma carga elétrica **q**, colocada no interior de uma casca esférica, produz um fluxo do vetor campo elétrico igual a F através da superfície da casca. Se outra carga, de mesmo módulo **q** e sinal contrário, for também introduzida no interior desta casca, o fluxo do vetor campo elétrico através da superfície terá valor:

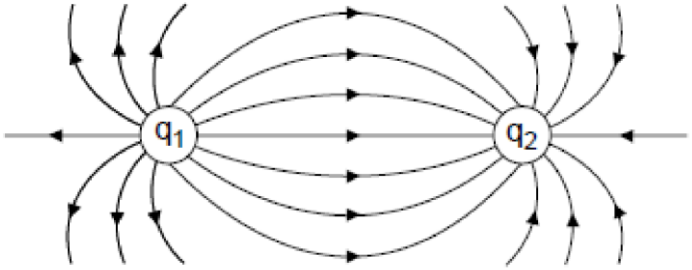
a) 2F.

b) Dependente da posição da nova carga no interior da casca.

c) Nulo.

d) F/2.

7) A figura abaixo mostra duas cargas q1 e q2, afastadas a uma distância **d**, e as linhas de campo do campo eletrostático criado.



Observando a figura acima, responda:

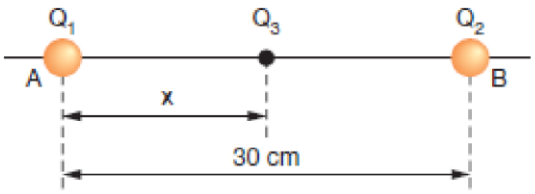
a) quais os sinais de cargas q1 e q2?

b) a força eletrostática entre as cargas é de repulsão? Justifique.

IV.5 “Testinhos”

Primeiro Testinho: Eletrização e Lei de Coulomb

1) (FEI-SP) Duas cargas elétricas puntiformes Q_1 e $Q_2 = 4Q_1$ estão fixas nos pontos *A* e *B*, distantes 30 cm. Em que posição (x) deve ser colocada uma carga $Q_3 = 2Q_1$ para ficar em equilíbrio sob ação somente de forças elétricas?



a) x = 5 cm c) x = 15 cm e) x = 25 cm
b) x = 10 cm d) x = 20 cm

2) **PUC-SP** Leia com atenção a tira do gato Garfield mostrada abaixo e analise as afirmativas que se seguem.



I. Garfield, ao esfregar suas patas no carpete de lã, adquire carga elétrica. Esse processo é conhecido como sendo eletrização por atrito.

II. Garfield, ao esfregar suas patas no carpete de lã, adquire carga elétrica. Esse processo é conhecido como sendo eletrização por indução.

III. O estalo e a eventual faísca que Garfield pode provocar, ao encostar-se a outros corpos, são devidos à movimentação da carga acumulada no corpo do gato, que flui de seu corpo para os outros corpos.

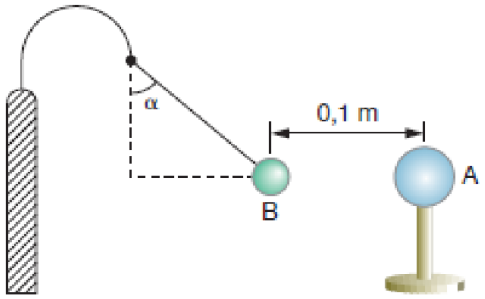
Estão certas

a) I, II e III. d) II e III.

b) I e II. e) apenas I.

c) I e III.

3) (UFOP-MG) A figura mostra a configuração de equilíbrio de uma pequena esfera *A* e um pêndulo *B* que possuem cargas de mesmo módulo.



a) O que pode ser afirmado sobre os sinais das cargas de *A* e *B*?

b) Se $\text{tg}\,\alpha = \frac{4}{3}$ e a massa de *B* é 0,1 kg, determine os módulos das cargas de *A* e *B*.

(Dados: aceleração da gravidade $g = 10\ m/s^2$; $k_0 = 9 \cdot 10^9\ N \cdot m^2/C^2$)

4) **Vunesp** Três esferas metálicas idênticas, A, B, C, inicialmente isoladas, estão carregadas com cargas elétricas positivas de intensidade QA = 6q, QB = 4q, QC = 2q, e uma quarta esfera D, idêntica às anteriores, encontra-se neutra. Encosta-se a esfera A na esfera D e a esfera B na esfera C, sem contato entre os dois grupos, mantendo-as unidas por alguns instantes e depois separando-as novamente. Em seguida, encosta-se a esfera A na esfera B e a esfera C na esfera D, também sem contato entre os dois grupos, mantendo-as unidas. Ao final do processo, as cargas elétricas totais do grupo formado pelas esferas A e B e do grupo formado pelas esferas C e D valem, respectivamente,

a) 0q e 12q.

b) 2q e 10q.

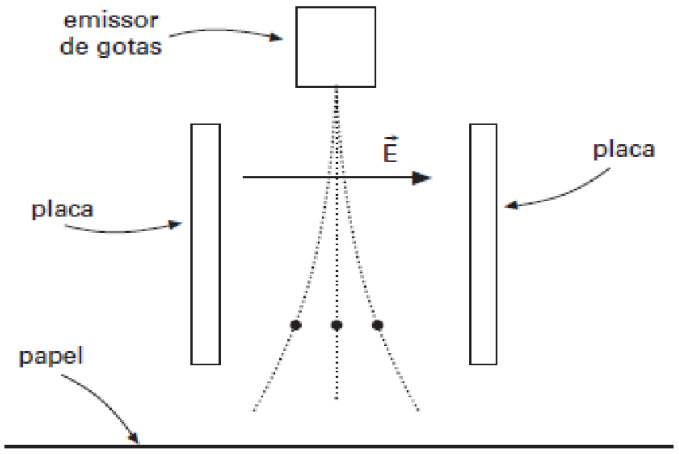
c) 4q e 8q.

d) 6q e 6q.

e) 10q e 2q.

Segundo Testinho: Campo Elétrico e Linhas de Força

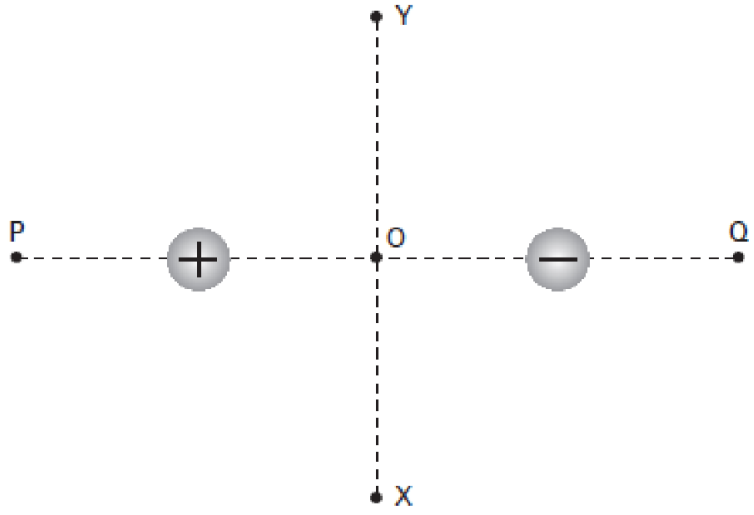
1) (UFRN) Uma das aplicações tecnológicas modernas da eletrostática foi a invenção da impressora a jato de tinta. Esse tipo de impressora utiliza pequenas gotas de tinta, que podem ser eletricamente neutras ou eletrizadas positiva ou negativamente. Essas gotas são jogadas entre as placas defletoras da impressora, região onde existe um campo elétrico uniforme **E**, atingindo, então, o papel para formar as letras. A figura a seguir mostra três gotas de tinta, que são lançadas para baixo, a partir do emissor. Após atravessar a região entre as placas, essas gotas vão impregnar o papel. (O campo elétrico uniforme está representado por apenas uma linha de força).



Pelos desvios sofridos, pode-se dizer que a gota 1, a 2 e a 3 estão, respectivamente:

a) carregada negativamente, neutra e carregada positivamente.
b) neutra, carregada positivamente e carregada negativamente.
c) carregada positivamente, neutra e carregada negativamente.
d) carregada positivamente, carregada negativamente e neutra.

2) (UFMG) A figura mostra duas esferas carregadas com cargas de mesmo módulo e de sinais contrários, mantidas fixas em pontos equidistantes do ponto **O**.



Considerando essa situação, é correto afirmar que o campo elétrico produzido pelas duas cargas:

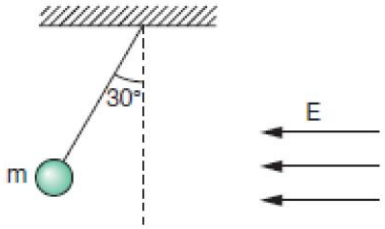
a) não pode ser nulo em nenhum dos pontos marcados.
b) pode ser nulo em todos os pontos da linha XY.
c) pode ser nulo nos pontos **P** e **Q**.
d) pode ser nulo somente no ponto **O**.

3) (Vunesp) Uma partícula de massa **m** e carga **q** é liberada, a partir do repouso, num campo elétrico uniforme de intensidade **E**. Supondo que a partícula esteja sujeita exclusivamente à ação do campo elétrico, a velocidade que atingirá **t** segundos depois de ter sido liberada será dada por:

a) $\frac{qEt}{m}$. c) $\frac{qmt}{E}$. e) $\frac{t}{qmE}$.

b) $\frac{mt}{qE}$. d) $\frac{Et}{qm}$.

4) (UFAC) Uma carga elétrica de 1 _C suspensa de um fio inextensível e sem massa está equilibrada, na posição mostrada na figura, pela ação de um campo eletrostático de intensidade 10^7 N/C.



O ângulo formado entre o fio e a direção vertical é de 30°. Determine o valor da tensão no fio.

IV.6 Simulado

Questões de Eletrostática do Simulado de Ciências da Natureza e suas Tecnologias

QUESTÃO 57

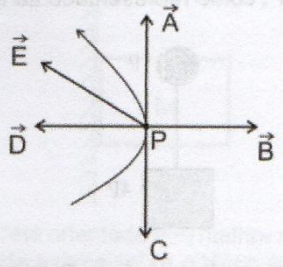
Tem-se três esferas metálicas, **A**, **B** e **C**, inicialmente neutras. Atrita-se **A** com **B**, Mantendo-se **C** bem afastada. Sabe-se que, nessa etapa, **B** ganha elétrons e que, logo após, as esferas são afastadas entre si de uma grande distância.

Um bastão eletrizado negativamente é aproximado de cada esfera, sem tocá-las. Em que alternativa, haverá atração?

A Apenas entre o bastão e a esfera **B**.
B Entre o bastão e a esfera **B** e entre o bastão e a esfera **C**.
C Apenas entre o bastão e a esfera **C**.
D Entre o bastão e a esfera **A** e entre o bastão e a esfera **C**.
E Entre o bastão e a esfera **A** e entre o bastão e a esfera **B**.

QUESTÃO 58

Na figura a seguir está representada uma linha de força de um campo elétrico, um ponto P e os vetores A, B, C, D e E.



Se uma partícula eletrizada negativamente, suficientemente pequena para não alterar a configuração desse campo elétrico, for colocada nesse ponto P, ela sofrerá a ação de uma força F, melhor representada pelo vetor.

A) A
B) B
C) C
D) D
E) E

QUESTÃO 60

A distância entre duas cargas elétricas fixas é d, tendo a força de atração entre elas intensidade igual a F. Para que a força entre as cargas tenha sua intensidade dobrada (2F), a distância entre elas deve ser

A) $2d$
B) $d\sqrt{2}$
C) $\frac{d}{2}$
D) $\frac{d}{4}$
E) $\frac{d\sqrt{2}}{2}$

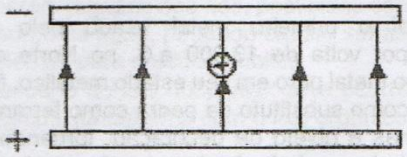
QUESTÃO 65

Joãozinho que têm cabelos secos observa que, em dias secos, quanto mais tenta assentar seus cabelos, penteando-os, mais eles ficam eriçados. Isso pode ser explicado do seguinte modo

A) Os cabelos ficam eletrizados por contato
B) Os cabelos adquirem magnetismo
C) Trata-se sim de um fenômeno puramente biológico
D) Os cabelos ficam eletrizados por atrito
E) Os cabelos ficam eletrizados por indução eletrostática

QUESTÃO 67

A figura ao lado representa uma carga elétrica **q** de massa 0,6 g imersa num campo elétrico uniforme de intensidade 3000 N/C.



Para que essa carga permaneça em equilíbrio, então o valor do módulo dessa carga deve ser de:

Considere g = 10 m/s²

A $2.10^{-6}C$
B $3.10^{-6}C$
C $4.10^{-6}C$
D $5.10^{-6}C$
E $6.10^{-6}C$

Conclusão

Este trabalho de pesquisa se propôs a elaborar um curso que abrangesse a Teoria Eletromagnética, com tópicos em torno da História do Eletromagnetismo, estando alinhados ao cronograma da escola onde foi aplicado e que foi trabalhado com a turma de terceiro ano do Ensino Médio, relacionando o tema aos aspectos socioculturais e com os diferentes contextos nos quais o eletromagnetismo teve as suas ideias desenvolvidas.

Conforme pode ser visto nos diários, os processos de eletrização - desde a origem dos estudos sobre eletricidade e magnetismo na Antiguidade -, a Lei de Coulomb, as Linhas de Força e o conceito de Campo Elétrico, foram todos abordados em sala de aula a partir do ponto de vista histórico, além de ter os contextos sociais e culturais citados para garantir a interdisciplinaridade. Além desses assuntos, foram incluídas no curso as equações de Maxwell, com exceção da Lei de Ampére, mesmo assim, a descoberta de Orested foi comentada com os alunos para mostrar que a eletricidade e o magnetismo possuem um cerne em comum.

Ao descrever para os alunos o efeito âmbar e a explicação feita pelos antigos gregos para fenômenos elétricos e magnéticos, houve a oportunidade de destacar a principal característica da ciência antiga, a observação. Enquanto que o trabalho de Gilbert, quase vinte séculos depois e o experimento feito por volta em 1600 para investigar o magnetismo terrestre propiciaram uma abordagem e comentários acerca da mudança do pensamento científico precedente à ciência moderna, baseada por sua vez na matemática e no empirismo. O próprio Faraday, cuja obra foi abordada nas aulas no museu sobre linhas de força e indução, remonta mediante a sua metodologia de trabalho à tradição empirista inglesa, sobretudo a influência mecanicista, com a dificuldade da aceitação de que a força eletromagnética era devido a uma ação à distância e o uso de um dos seus principais eventos nas fábricas, na segunda etapa da Revolução Industrial, o motor elétrico. Outro exemplo, relatado nos “Diários de Campo”, foi o trabalho de Galvani e os estudos sobre a “eletricidade animal” que serviram de fonte de inspiração para a obra literária “Frankestein”, e atestam o caráter sociocultural do eletromagnetismo e como a ciência é um empreendimento humano socialmente construído.

Todos os artigos e livros de História da Física consultados para as aulas, ao se referirem à vida de Michael Faraday, descrevem as suas contribuições científicas desde o tempo em que foi auxiliar de laboratório de Humphry Davy, inclusive na Química, com os estudos acerca da eletrólise. Também contribuiu para a aula sobre

essa parte do Eletromagnetismo o fato da propriedade dos imãs e o magnetismo terrestre, com citações ao *De Magnete* de Gilbert, terem sido explicados no primeiro dia. Houve o cuidado em expor o conceito de indução mediante a variação de fluxo de forma mais qualitativa, sem o devido tratamento matemático.

Portanto, a ênfase dada ao trabalho de Faraday no curso se dividiu em duas partes: 1) As linhas de força e a difícil aceitação dos mecanicistas sobre a ação à distância na época, junto com o conteúdo sobre campo elétrico; 2) O princípio de Indução, a geração de corrente alternada nas usinas hidrelétricas pela queda d'água, a diferença desse tipo de corrente com a contínua e o funcionamento dos dínamos.

Mais perto do final do curso, foi discutido com a turma o "poder das pontas" e a Lei de Gauss, que não costuma ser abordada no ensino médio e que não consta no currículo da escola, mas que fez parte como um dos tópicos na proposta de trabalho, sendo abordada de forma qualitativa para análise do campo elétrico no interior de condutores.

No que tange à cidade de Cataguases, a parte do trabalho que se desenvolveu no museu, pela potencialidade que espaços não-formais apresentam para a educação, trouxe resultados positivos que podem ser observados nos diários de campo. Os alunos se mostraram mais livres e os comentários e dúvidas que demonstraram dentro do museu contribuíram para o tema, principalmente pela ótica da interdisciplinaridade, e o desenrolar do assunto. Muitas questões que não seriam trabalhadas em uma aula convencional sobre indução na escola puderam ser tratadas nessa atividade, já que na introdução, no começo da visitação ao museu, foram apresentados tópicos sobre o desenvolvimento industrial e progresso vividos pela cidade, e como isso refletiu na literatura dos Verdes. Da parte dos alunos, coube uma série de questionamentos sobre fontes de energia renováveis e quais seriam as formas de produzir eletricidade sem agredir o meio ambiente. Discussões positivas e ricas dentro de um regime escolar rígido, no qual o professor não possui liberdade para avaliar os alunos como deseja ou escolher o assunto que será dado. Ainda mais que contextualizar o conteúdo com a realidade dos alunos é sugerido pelos parâmetros curriculares para a disciplina de Física.

A elaboração dos diários de campo tem por objetivo compartilhar com o leitor as situações e dificuldades vivenciadas nas aulas. Baseado no livro da professora Elika Takimoto, "História da Física na Sala de Aula", o terceiro capítulo descreve o desenvolvimento do curso e de atividades, além das perguntas e questionamentos dos alunos como parâmetro para avaliar o interesse da turma de forma qualitativa, dentro de uma cultura que tem como foco o vestibular e as aprovações em uma instituição de ensino superior.

Nas conversas informais pelos corredores da escola e por meio de redes sociais, os alunos disseram que a aula foi muito interessante e que mais atividades como a da visita deveriam ser promovidas pelo colégio. Além do mais, alguns deles não conheciam o museu nem as atividades promovidas pelo espaço para a comunidade, como aulas de teatro e sessões de cinema, programadas para começar ainda esse ano, uma vez que o ambiente usado como auditório improvisado recebeu cadeiras novas e uma tela de projeção. Atividades para valorização da arte e da cultura num município reconhecido pela arquitetura e literatura modernista, e pela produção cinematográfica, sendo importante para a história do cinema nacional desde os tempos do cineasta Humberto Mauro.

Mediar uma discussão com a turma sobre o começo do serviço de eletricidade e a história da antiga Força e Luz permitiu conduzir o assunto até o desenvolvimento do setor fabril na cidade e a forma como as mudanças no ambiente urbano, segundo os autores que escreveram sobre o movimento modernista local, estiveram presentes inclusive na poesia dos Verdes, e que esse tipo de expressão artística, assim como as demandas pelo progresso através do crescimento da manufatura, não foi algo que ocorreu apenas nos grandes centros, Rio de Janeiro e São Paulo.

A união entre vários empresários, que acelerou o processo de criação de uma instituição de ensino secundário na cidade, contribuiu também para salvar o ginásio que veio a se tornar o Colégio de Cataguases, em 1945. Logo, a cidade se tornou uma rica fonte para compreender como a educação está inserida num processo interessante de relação com a sociedade, a cultura e fatores como o desenvolvimento econômico, por exemplo. No Colégio de Cataguases há um encontro entre a industrialização, o modernismo e a educação, porque a industrialização e as influências modernistas estiveram presentes desde os primeiros anos da instituição, que por sua vez sucedeu o antigo Ginásio, também fruto dessa parceria com a indústria e a arte.

No que diz respeito à parte quantitativa da pesquisa, o questionário de sondagem aplicado no começo e no final do curso, os resultados foram positivos, tal como é descrito no capítulo “Resultados”. Em apenas duas questões envolvendo condutores assimétricos, que apresentaram melhoras de resultados, o desempenho da turma ainda não foi satisfatório, ficando abaixo de cinquenta por cento.

Para corroborar esse bom desempenho dos alunos após a realização das atividades, foi usado como parâmetro as questões de eletrostática do simulado de Ciências da Natureza e suas Tecnologias. E, segundo relatos de alunos, o questionário serviu de base para os estudos dessa prova de preparação para o ENEM.

Entretanto, no resultado dos dois “testinhos”, cujas notas foram colhidas para análise, a classe não teve o resultado esperado. Pode-se notar uma dificuldade sobre Mecânica, principalmente em problemas mais complexos que misturam o conteúdo de eletrostática com o de dinâmica e cinemática.

Feita a análise das notas e uma interpretação dos diários de campo, onde essas dificuldades por parte dos alunos foram relatadas, principalmente durante a resolução de exercícios da apostila, duas questões podem ser levantadas:

1) O que deve ser feito para sanar as dificuldades conceituais dessa turma, em específico, acerca do conteúdo de Mecânica?

2) Como proceder no restante do ano para que a turma não volte a ter uma visão reducionista sobre a Física sem perder o foco na preparação para o vestibular?

Por fim, apenas o conteúdo de potencial elétrico não esteve presente na ementa do curso. Apesar de ser um conceito importante, o próprio PCN sugere começar o conteúdo de Eletromagnetismo a partir da eletrodinâmica por conta dos inúmeros utensílios eletrodomésticos que a sociedade tem a sua disposição. No entanto, a escola tem um cronograma próprio e um conteúdo a ser seguido como foi relatado desde o começo e por isso, apesar do curso abordar a Teoria Eletromagnética, a ênfase principal foi em eletrostática com as aulas de exercícios e o foco nos “testinhos” e simulados. Assim, os alunos tiveram aulas de exercícios, mas as equações de Maxwell, os pilares do Eletromagnetismo, não deixaram de ser discutidos.

Referências Bibliográficas

AFONSO, A. J. Sociologia da Educação Não-escolar: reactualizar um objecto ou construir uma nova problemática in: STOER, Antonio J.A *Sociologia na escola: professores, educação e desenvolvimento*. Biblioteca das Ciências do Homem. Porto: Aprontamento, 1992. p.81-96.

ÁVILLA, A (Org.).; *O modernismo*. São Paulo: Perspectiva. 3° edição, 2013.

BOSS, S. L. B.; CALUZI, J. J.; "Os conceitos de eletricidade resinosa segundo Du Fay". *Revista Brasileira de Ensino de Física,* v. 29, n. 4, p. 635-644, 2007.

BRAGA, M. GUERRA, A. REIS, J.; C. *Breve História da Ciência Moderna* - Vol.3: Das Luzes ao sonho do doutor Frankenstein (séc. XVIII), 2 ed. Rio de Janeiro: Editora Zahar, 2011a.

_____.; *Breve História da Ciência Moderna* - Vol. 4: A belle-époque da ciência (séc. XIX), 2 ed. Rio de Janeiro: Editora Zahar, 2011b.

_____.; *Faraday e Maxwell - eletromagnetismo*: da indução aos dínamos. São Paulo: Atual, 2004.

_____.; "O papel dos livros didáticos franceses do século XIX na construção de uma concepção dogmático-instrumental do Ensino de Física". *Cad. Bras. Ens. Fís*., v. 25, n. 3: p. 507-522, dez. 2008.

BRASIL.; *Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs).* Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Ensino Médio. MEC/SEF. Brasília: 2009.

_____.; *Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+).* Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Ensino Médio. MEC/SEF. Brasília: 2009.

CHAUI, M.; *Introdução à história da filosofia*: dos pré-socráticos a Aristóteles. v.1. São Paulo: Companhia das letras, 2002.

COSTA, L. S.; *Cataguases Centenária*: Dados para sua História. Juiz de Fora**:** Esdeva Empresa Gráfica S. A., 1977.

DIAS, V. S., MARTINS, R. A.; "Michael Faraday: O caminho da livraria à descoberta da Indução Eletromagnética". *Ciência & Educação*, v. 10, n. 3, p. 517 - 530, 2004.

ELIAS, D., AMARAL, L. H., MATSUURA, O. *Planetário de São Paulo*: Contribuição como espaço não formal de aprendizagem e alfabetização científica. São Paulo:

Universidade Cruzeira do Sul, 2005. Disponível em: http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvii/sys/resumos/T0623-1.pdf Acesso em 20 de fevereiro de 2016.

FINO, C. N.; "Vygotsky e a Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP): três implicações pedagógicas". Revista Portuguesa de Educação, Vol.14, n.2, pp.273-291. 2001.

FORATO, T. C. M., PIETROCOLA, M., MARTINS, R. A.; "Historiografia e Natureza da Ciência na sala de aula". *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 38, n. 1, p. 27-59, abr. 2011.

GIL-PÉREZ, D., PRAIA, J., VILCHES, A.; "O papel da Natureza da Ciência na Educação para a cidadania". *Revista Ciência e Educação*, v. 13, n. 2, p. 141-156, 2007.

GASPAR, A.; *Museus e Centros de Ciências* – conceituação e propostas de um referencial teórico. Tese de Doutorado, Faculdade de Educação/USP, São Paulo, SP, Brasil, 1993.

GUAYDIER, P.; *História da Física*. Lisboa: Edições 70, 1984.

JACOBUCCI, D. F. C.; "Contribuições para os espaços não-formais de Educação para a formação da cultura científica". *Revista Em Extensão*, Uberlância, v. 7, n. 2, 2008. Disponível em: http://www.seer.ufu.br/index.php/revextensao/article/viewFile/20390/10860 Acesso em 08 de março de 2016.

MACIEL, P. R. C.; *A construção do conceito de função através da história da Matemática*. Dissertação de Mestrado, PPCEM/CEFETRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2011.

MENEZES, D. P.; *Universo, Terra e Vida*: Orientando o professor no trabalho com alunos surdos. Dissertação de Mestrado, PPCEM/CEFETRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2010.

MILCENT, P. F.; *Benjamin Franklin para Professores*. Curitiba: Editorado pelo próprio autor e por Paul André Alain Milcent, em Microsoft Word 2000, 2007.

NASCIMENTO, B. G.; *Análise da Astronomia kepleriana no Ensino Médio* - A História da Ciência a favor da Aprendizagem. Dissertação de Mestrado, PPCEM/CEFETRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2007.

NOLLET, J. A.; *Essai sur l'électricité des corps*. Paris: Chez les freres Guerin, 1753.

PEREIRA, M. V.; *Do Desenvolvimento à aplicação de um vídeo didático de Física Térmica para o Ensino Médio.* Dissertação de Mestrado, PPCEM/CEFETRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2007.

PIRES, A. S. T.; *Evolução das ideias da Física*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2008.

PÓVOAS, R. C.; *Ensino de Física na EJA*: Uma abordagem histórica do eletromagnetismo. Dissertação de Mestrado, PPCEM/CEFETRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2012.

PRADO JUNIOR, C.; Síntese da evolução econômica do Império. In: *História Econômica do Brasil*. São Paulo: Editora Brasiliense, 34ª edição, p.192-204, 1986.

_____; *História econômica do Brasil*. São Paulo: Editora Brasiliense, 1986.

RESENDE, E.; de. *Pequena História Sentimental de Cataguases*. 1969. Belo Horizonte: Editora Itatiaia Ltda, p. 145 – 146, 1969.

ROCHA, J. F.; (org), PONCZEK, R. I. L; PINHO, S. T. R., ANDRADE, R. F. S., JÚNIOR, O. F. FILHO, Eletromagnetismo e Ótica in: A. R., *Origens e Evolução das ideias da Física*. Salvador: EDUFBA, 2002.

RONAN, C.A. *História Ilustrada da Ciência***:** Da Renascença à Revolução Científica. São Paulo: Zahar Editor, 1987.

RUFFATO, L., *Os ases de Cataguases* (Uma história dos primórdios do Modernismo). Cataguases: Instituto Francisca de Souza Peixoto, 2002.

SAN'TANA, M. R. T., *O Movimento Modernista Verde, de Cataguases* – MG: 1927 – 1929. Cataguases: Instituto Francisca de Souza Peixoto, 2005.

SILVA, C. C.; *A vida social e familiar do operário têxtil, Cataguases* – século XX. Dissertação. Universidade Salgado de Oliveira, Niterói – RJ. 2009.

SILVA, C. C.; PIMENTEL, A. C.; "Benjamin Franklin e a História da Eletricidade nos Livros Didáticos". *X Encontro em Pesquisa em Ensino de Física*, Londrina, Paraná, Agosto, pp. 1 - 11, 2006.

SILVA, C. E. L.; e CHAVES, S. N.; Tendências da educação científica em museus de ciências. In: *Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*. Bauru: ABRAPEC, 2005.

SINGER, P. A.; Interpretação do Brasil: uma experiência histórica de desenvolvimento. In: PIERUCCI, A. F. O.(et. al.) *O Brasil republicano*. v.4: economia e cultura (1930-1964), 3ª ed., Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, cap. IV, p. 211-245, 2004.

STELLING, W.; Indústria têxtil na Bahia – o apogeu no século XIX e tendências atuais. *Cadernos de Análise Regional*, artigo 10, p.1-24, 2003.

TAKIMOTO, E.; *História da Física na sala de aula*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2009.

TELES, G. M.; *Vanguarda Europeia & Modernismo Brasileiro*: apresentação e crítica dos principais movimentos vanguardistas. Petrópolis: Vozes, 19° edição, 2009.

TOLENTINO, M., ROCHA-DIAS, R. C.; 'O bicentenário da invenção da pilha de Volta". *Química na Nova Escola*, maio, 2000.

VIDAL, P. H. O.; PORTO, P. A., *A História da Ciência nos Livros Didáticos de Química do PNLEM 2007*. *Ciência & Educação*, v. 18, n. 2, p. 291 - 308, 2012.